



**UNIVERSIDADE DO MINDELO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR**

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

**RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2018/2019 – 4º ANO**

**Tema: Sistema Monitoramento de uma Central Fotovoltaica
Caso de Estudo: Central Fotovoltaica da Universidade do Mindelo**

Autor: Zuleica Soraia Conceição Teixeira, N.º 3954

Orientador: Eng. Júlio César Medina

Mindelo, 2019

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO Ano Letivo 2018/2019

Sistema Monitoramento de uma Central Fotovoltaica
Caso de Estudo: Central Fotovoltaica Da Universidade do Mindelo

Autor: Zuleica Soraia Conceição Teixeira N.º 3954

Orientador: Eng. Júlio César Medina

Mindelo, 2019

Zuleica Soraia Conceição Teixeira

SISTEMA MONITORAMENTO DE UMA CENTRAL FOTOVOLTAICA,
CASO DE ESTUDO: CENTRAL FOTOVOLTAICA DA UNIVERSIDADE
DO MINDELO

Projeto de trabalho de conclusão do curso,
apresentado à Universidade do Mindelo
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de licenciado em Engenharia em
Energias Renováveis.

Orientador: Eng. Júlio César Medina

Mindelo 2019

Nenhuma grande descoberta foi feita jamais sem um
palpite ousado.

Isaac Newton

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que de uma forma direta e indiretamente, contribuíram para que eu concluísse este trabalho com sucesso, em especial aos meus pilares (meus pais) e a minha irmã que sempre esteve disponível para me apoiar ao longo dessa jornada académica.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Albertino Fortes Teixeira e Maria Imaculada Conceição, que sempre estiveram ao meu lado nas horas difíceis e felizes da minha vida.

Agradeço a minha irmã que sempre esteve ao meu lado, que me deu forças em todos os momentos.

Agradeço aos meus tios e tias por ter me ajudado e apoiado nessa jornada.

Ao meu prezado orientador Júlio César Medina, pela dedicação, compressão e amizade durante a elaboração do meu projeto.

Aos meus amigos especialmente Waldir e Kelvin Graça pela ajuda e dedicação. Aos amigos da Universidade e Professores que estiveram sempre comigo nessa longa jornada.

Por fim sou grata a todos que de alguma forma, direta ou indireta participaram da realização desse projeto.

RESUMO

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia renovável que mais cresce no mundo, devido a sua abundância, versatilidade e incentivos governamentais. A utilização de um sistema de aquisição de dados, permite avaliar o potencial de geração de energia da central, análise da eficiência e uma grande variedade de informações sobre a instalação, informações essas que contribuem para melhor conhecimento acerca desse tipo de energia.

A aplicação de sistemas fotovoltaicos em larga escala, com inversores de fabricantes diferente, isto limita-se ao usuário em termos da aquisição dos dados do sistema, porque cada inversor tem o seu próprio sistema monitoramento disponibilizado pelo fabricante, afetando negativamente os custos, a flexibilidade e integração de dados.

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema de aquisição de dados para a central fotovoltaica da Universidade do Mindelo. O sistema proposto usa um microcontrolador Arduíno, para coletar dados de tensão, corrente, temperatura, humidade, pressão e irradiância, os quais são transmitidos via o protocolo de internet TCP-IP e armazenados em um banco de dados MySQL, para depois serem visualizados em uma página Web desenvolvida. O projeto inclui os detalhes específicos do hardware, métodos e sistemas utilizados na aquisição, transmissão, armazenamento e visualização dos parâmetros coletados. No software Elipse SCADA foi criado um aplicativo para visualizar os dados do sistema.

O baixo custo de implementação, somado a alta flexibilidade, eficiência e simplicidade faz do sistema proposto uma opção viável, funcional e eficiente para coleta de informações de sistemas fotovoltaicos.

Palavras-Chave: Sistemas fotovoltaicos, sistema de aquisição de dados, Arduíno.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is one of the fastest growing renewable energy sources in the world, due to its abundance, versatility and government incentives. The use of a data acquisition system allows to evaluate the power generation potential of the plant, efficiency analysis and a wide variety of information about the installation, which contributes to better knowledge about this type of energy.

The application of photovoltaic systems in large scale, with inverters from different manufacturers, this is limited to the user in suits of archiving the system data, because each inverter has its own monitoring system available from the manufacturer, negatively affecting the costs, flexibility and data integration.

The main objective of this work is to develop a data acquisition system for the photovoltaic plant of the University of Mindelo. The proposed system uses an Arduino microcontroller to collect data on voltage, current, temperature, humidity, pressure and irradiance, which are transmitted via the TCP-IP internet protocol and stored in a MySQL database, for later viewing on a developed web page. The project includes the specific details of the hardware, methods and systems used in the acquisition, transmission, storage and visualization of the collected parameters. In the software Elipse SCADA was created an application to visualize the data of the system.

The low cost of implementation, added to the high flexibility, efficiency and simplicity makes the proposed system a viable, functional and efficient option for the use of information from photovoltaic systems open to visualization and analysis by any user on the Internet.

Keywords: Photovoltaic systems, data acquisition system, Arduino.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLA	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Objetivo Geral	20
1.2 Objetivos Específicos	20
1.3 Justificativa.....	20
1.4 Metodologia.....	21
1.5 Estrutura do trabalho	22
CAPITULO II: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	24
2.1 Células Fotovoltaicas	24
2.2 Tipos De Células Fotovoltaicas.....	25
2.3 Curva I-V De Uma Célula Fotovoltaica.....	26
2.4 Constituição De Um Sistema Fotovoltaico	28
2.4.1 Módulos.....	28
2.4.2 Inversor.....	30
2.4.3 Controlador Carga	31
2.4.4 Baterias	33
2.5 Tipos De Sistemas Fotovoltaico.....	33
CAPITULO III: SISTEMA CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS	36
3.1 Sistemas de Aquisição de Dados	36
3.2 Arduíno.....	37

3.2.1 Módulos para Arduino.....	38
3.3 Sensor	42
3.3.1 Sensor DHT11	42
3.3.2 Sensor Corrente CC e AC.....	43
3.3.3 Medição de tensão CC e AC	45
3.3.4 Medidores de Radiação Solar	46
3.4 Elipse SCADA	47
3.5 Linguagem De Programação	48
3.5.1 HTML.....	48
3.5.2 CSS	48
3.5.3 JavaScript	49
3.5.4 PHP	49
3.6 MYSQL	49
CAPITULO IV: ESTUDO CASO.....	52
4.1 Localização geográfica da ilha de São Vicente	52
4.2 Parâmetros Ambientais da Cidade do Mindelo	53
4.3 Descrição do Sistema Proposto	55
4.4 Desenvolvimento do sistema de Controlo com Arduino.....	57
4.5 Desenvolvimento do aplicativo de Controlo no software Elipse SCADA.....	64
4.6 Criação da Base de Dados	67
4.7 Controlo dos Inversores EFFEKTA	72
4.7.1 Conceção paralelo de inversores Effekta.....	72
4.7.2 Configuração do software Watch Power	74
4.7.3 Configuração do sistema Web do inversor.....	76
4.8 Custo do projeto	78

CAPITULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS E ANEXOS	79
5.1 Conclusão	79
5.2 Sugestão de Trabalhos Futuros	79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
7. ANEXOS	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura física de uma célula fotovoltaica	25
Figura 2: Ligação serie dos módulos fotovoltaicos	29
Figura 3: Ligação em paralela dos módulos fotovoltaicos	29
Figura 4: Ligação em mista dos módulos fotovoltaicos	30
Figura 5: Esquema de um controlador de carga paralelo	32
Figura 6: Esquema de um controlador de carga serie.....	32
Figura 7: Sistema fotovoltaico isolada	34
Figura 8: Sistema Fotovoltaico On Grid	34
Figura 9: Sistema fotovoltaico hibrido	35
Figura 10: Diagrama de blocos de um sistema de monitoramento genérico.....	36
Figura 11: descrição da IDE arduino.....	38
Figura 12: Módulo ESP8266 para conexões Wi-Fi.....	39
Figura 13: Modulo XBee.....	40
Figura 14: Modulo RF 433 Mhz.....	40
Figura 15: Modulo GSM900	41
Figura 16: Modulo Ethernet	42
Figura 17: Sensor temperatura DHT11	43
Figura 18: Sensor corrente ACS712.....	44
Figura 19: Sensor de corrente SCT-013	44
Figura 20: Circuito de medição de tensão CC.....	45
Figura 21: Medição de Tensão AC.....	46
Figura 22: Ilha de São Vicente	52
Figura 23: Descrição do sistema proposto.....	57
Figura 24: Circuito controlo dos parâmetros ambientais.....	58
Figura 25: Circuito do sensor de corrente AC.....	60
Figura 26: Circuito do sensor de corrente DC.....	61
Figura 27: Circuito do sensor de tensão AC.....	62
Figura 28: Medidor frequência com Arduíno.....	63
Figura 29: Circuito do medidor tensão DC	64

Figura 30: Tela inicial do aplicativo.....	65
Figura 31: Tela menu do aplicativo.....	66
Figura 32: Tela para visualizar os parâmetros ambientais	66
Figura 33: Modelo da tela dos inversores.....	67
Figura 34: Modelo relacional da criação da base de dados	69
Figura 35: Kit trifásico de comunicação paralelo de inversores Effekta.....	73
Figura 36: Conexão paralela de 3 inversores Effekta.....	74
Figura 37: Menu de configuração básico do software Watch Power	74
Figura 38: Alteração da palavra passe do software Watch Power	75
Figura 39: Configuração dos parâmetros do inversor.....	76
Figura 40: Placa de conexão do inversor com a rede internet	76
Figura 41: Modelo de integração do software Watch Power com a rede internet.....	77

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva característica de uma célula fotovoltaica	26
Gráfico 2: Variação da curva I-V com a temperatura	27
Gráfico 3: Variação da curva I-V com a radiação incidente	28

ÍNDICE TABELAS

Tabela 1: Energia elétrica produzida em Cabo Verde.....	19
Tabela 2: Custo do projeto	78

ÍNDICE QUADRO

Quadro 1: Comandos SQL	50
------------------------------	----

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLA

APIS- Application Programming Interfaces;

AC- Corrente alternada;

CC- Corrente contínua;

CSS- Cascading Style Sheets;

CDTE- Telúrio de cádmio;

C-Si- Silício monocristalino;

DDL- Defenition Data language;

DML- Data Manipulation language;

DCL- Data Control Language;

DQL-Data Query language;

DB- Base de Dados;

DAQS- Sistema de aquisição de Dados;

FV- Fotovoltaico;

GSM- Global System for Mobile;

GPIO- General Purpose Input/output;

GW- Gigawatts;

HTML- Hyper Text Markup Language;

Hz- Heartz;

ICC- Corrente elétrica de curto circuito;

IEDS- Intelligent Eletronic Device;

IMP- Corrente na máxima Potência;

Km- Kilometros;

KB- Kilobyte

KBPS- Kilobayte por Segundo

KWh- Kilowatts;

MHZ- Megaheartz;

mA- Miliampéres;

MW- Megawatts;

m/s- Metros por segundo;

m- Métros ;

mv- Milivolt;
MMI- Man Machine Interface;
PRO- Professional;
PERCV- Plano Energético Renovável de Cabo-Verde;
P-SI- Silício policristalino;
RTU- Remote Terminal Units;
SQL- Linguagem de consulta estruturada;
Si- Silício amorfo;
SGBD- Sistema de gerenciamento do Banco de Dados;
TCP/IP- Transmission Control Protocol/Internet Protocol;
Usi-Silício microcristalino;
UART- Universal asynchronous Receiver/Transmitter;
V- Volts;
Voc- Tensão de circuito aberto;
Vmp- Tensão na máxima potência;

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

A demanda de energia elétrica vem crescendo continuamente ao redor do globo. Isso se deve principalmente devido à industrialização e ao aumento da utilização de equipamentos industriais, associado à melhoria das condições de vida e ao aumento populacional. A maior parte dessa energia é gerada através de fontes não renováveis, tais como carvão e derivados do petróleo. Entretanto devido a preocupações ambientais bem como a redução de combustíveis fósseis, fontes de energia renovável fazem-se cada vez mais necessárias (Bauer & Lonel, 2013).

Entre as fontes renováveis de energia, a solar fotovoltaica vem se destacando devido a sua abundância, versatilidade e incentivos governamentais. Nos países participantes da Agência Internacional de Energia - Programa de Sistemas Fotovoltaicos (IEA-PVPS), entre 1992 e 2015 houve um aumento de 103 MW para 196,8 GW na potência fotovoltaica instalada. Além disso, no final de 2016, instalações fotovoltaicas representavam 320 GW da potência instalada em todo mundo, sendo que 83,2 GW são da China, líder mundial nesse segmento (IEA PVPS, 2016).

Em Cabo Verde no ano de 2017, cerca de 83,1% da energia elétrica produzida em Cabo Verde foi de origem térmica, representando um aumento de 13,0% em relação ao ano anterior. A energia elétrica de origem eólica contribuiu com cerca de 15,5%, em 2017 para o total da produção de energia elétrica, tendo registado uma diminuição de 1,3% quando comparado com 2016. A contribuição da energia solar na produção de energia elétrica continua a ser de 1,4%, percentagem igual à obtida em 2016 (INE, 2017).

Em 2017, a ilha de Santiago com 49,3% do total da produção de energia elétrica nacional, continua a ser a ilha com maior produção de energia elétrica no país, seguida das ilhas do Sal e São Vicente com 17,8% e 16,1%, respetivamente. As restantes ilhas em conjunto representam cerca de 16,8% do total da produção de energia elétrica em 2017, correspondendo a 82,6GWh (INE, 2017) (Tabela 1).

	Produção Térmica (GWh)	Produção Renovável (GWh)	Total Produção (GWh)	Taxa de Penetração ER (%)
Cabo Verde	408,0	83,0	490,9	16,9
Santo Antão	15,3	0,8	16,1	4,8
S. Vicente	59,4	19,7	79,1	24,9
S. Nicolau	6,8	0,0	6,8	0,0
Sal	68,4	19,0	87,4	21,8
Boa Vista	31,4	8,0	39,4	20,2
Maio	3,4	0,0	3,4	0,0
Santiago	206,3	35,5	241,9	14,7
Fogo	14,1	0,0	14,1	0,0
Brava	2,8	0,0	2,8	0,0

Tabela 1: Energia elétrica produzida em Cabo Verde

Fonte: Direção Nacional de Indústria, Comércio e Energia, 2017

É evidente que o custo de instalação dos sistemas fotovoltaicos ainda é alto, mas a cada ano os equipamentos vem baixando os preços. Consequentemente, seu projeto, dimensionamento e análise ideais do sistema fotovoltaico o desempenho é considerado questão essencial. A fim de atingir esse objetivo, é preciso de informações detalhadas sobre dados do sistema e informações da radiação solar, que deve ser coletado por um longo período de tempo. Portanto, um sistema de aquisição de dados (DAQS) foi considerado essencial, para monitorar e coletar dados do sistema fotovoltaico para avaliar seu desempenho (Bauer & Lonel, 2013).

Segundo o mesmo autor citado acima, os sistemas de monitoramento aplicados a plantas fotovoltaicas têm o objetivo de fornecer informações sobre o potencial de energia, potência extraída, condições de operação e outros fatores que podem ser utilizados como base de dados para aplicações de controle e monitoramento para esses sistemas. A aquisição de dados, atrelada aos sistemas de monitoramento em plantas fotovoltaicas exerce um papel fundamental na análise de geração, facilitando o estudo de tais tipos de sistemas, e invariavelmente, potencializando a popularização da energia solar fotovoltaica.

A principal contribuição deste trabalho é apresentar um DAQS econômico, eficiente para coletar informações operacionais e dados do sistema fotovoltaico para fins de avaliação. Tais

dados incluindo: Tensão, corrente, potência e desenho gerados pelo PV características do painel fotovoltaico.

1.1 Objetivo Geral

- Desenvolver um sistema de aquisição de dados eficiente e de baixo custo para uma central fotovoltaica.

1.2 Objetivos Específicos

- Estudar a energia solar Fotovoltaica e as tecnologias de aquisição de dados;
- Identificar os meios de transmissão de dados sem fio;
- Desenvolver o sistema SCDA no software Eilipce SCADA¹ e armazenamento dos dados em uma base de dados na Web;
- Analisar a viabilidade económica do sistema proposto.

1.3 Justificativa

A instalação de sistemas fotovoltaicos em locais afastados do centro das cidades, o controlo dos parâmetros do sistema torna-se difícil porque em alguns dos casos, nesses locais não é possível o acesso a internet. Isto faz com que o operador da central fica a deslocar sempre para o local para verificar o estado do mesmo.

A aplicação de sistemas de monitoramento produzidos pelos próprios fabricantes de inversores possuem algumas vantagens, tais como rápida instalação e configuração com seus respectivos inversores e alta taxa de confiabilidade. Por outro lado, esses dispositivos em sua imensa maioria não são compatíveis com inversores de outros fabricantes, os dados são armazenados em uma base de dados local e o sistema é pouco flexível.

¹ significa controle de supervisão e aquisição de dados.

A criação de um sistema aquisição de dados, permite que através de informações fornecidas pelo sistema de geração e seus sensores, seja possível a visualização da produção da usina fotovoltaica e seu impacto financeiro e ambientalmente.

1.4 Metodologia

Em uma primeira etapa de desenvolvimento do trabalho, serão realizadas bibliográficas em livros, artigos científicos, sites para melhor conhecimento do tema, realçando a energia solar fotovoltaica e os sistemas de aquisição de dados.

De seguida, serão realizadas pesquisas para obter-se o *hardware* mais apropriado para o projeto. A princípio, o sistema será desenvolvido na plataforma Arduino, uma plataforma de prototipagem de *hardware* livre que possui o microcontrolador Atmega 328 baseado na linguagem de programação C/C++, pois esse possui facilidade de acesso a componentes necessários para a realização deste projeto. A aquisição dos dados deverá ser realizada através de sensores conectados as portas do Arduino, podendo os mesmos serem visualizados através de comunicação serial.

Através da comunicação serial com o Arduino, existe uma grande diversidade de *software* SCADA *open source* compatível com o Arduino. Assim sendo, com base nas pesquisas realizadas no sistema optou-se por usar o *software* Elipse SCADA, para controle e visualização dos dados dos sensores.

Foi efetuado várias pesquisas em sites de compra online, para uma melhor escolha dos sensores a serem usados. Depois de realizar a escolha dos sensores, deve realizar a calibração dos mesmos, reduzindo assim a taxa de erro das medições efetuadas. Os sensores deverão ser calibrados através de comparações de dados obtidos pelo mesmo com dados obtidos por meio de equipamentos de medição usuais de alta confiabilidade.

As linguagens de programação que serão utilizadas na plataforma de *software* são linguagens de alto nível e de código aberto, evitando custos adicionais com aquisição de licenças,

colaborando para a proposta de um protótipo de baixo custo. A plataforma será então hospedada em um servidor para que o acesso aos dados seja feito de qualquer local através da internet. Serão gerados relatórios de consumo, gráficos, monitoramento instantâneo e alarmes, que podem ser acessados através de qualquer equipamento que possua conexão a um navegador de internet, como *smartphones*, *notebooks* e *tablets*.

Em um último momento, serão avaliados os resultados do projeto, se as expectativas foram alcançadas bem como possíveis problemas encontrados durante o processo de desenvolvimento do sistema.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho encontra dividida em cinco capítulos:

No capítulo I é realizada uma breve introdução, sendo apresentado o objetivo geral e os específicos, a justificativa da escolha do tema e a metodologia usada para efetuar o trabalho.

No capítulo II é apresentado um estudo detalhado da energia solar fotovoltaica, onde é retratado o princípio funcionamento de uma célula fotovoltaica, curva característica de uma célula fotovoltaica, tipos e principais componentes de um sistema fotovoltaico.

No capítulo III faz referência aos sistemas de controlo e aquisição de dados, tem como base o diagrama bloco de um sistema de aquisição de dados de uma central fotovoltaica, Arduino, sensores para medir tensão, corrente radiação solar em uma central fotovoltaica, rede ZigBee para comunicação sem fios, software Elipse SCADA e MySQL para desenvolver o sistema aquisição de dados.

No capítulo IV é efetuada o estudo de caso, sendo assim necessário realizar uma breve caracterização da central fotovoltaica da universidade de Uni Mindelo, configuração dos módulos para a comunicação radiofrequência, criação da base de dados e usar o PhpMyAdmi

para conectar o sistema na Web e depois proceder com a análise da viabilidade económica do sistema.

No capítulo V é apresentado as conclusões, sugestão de trabalhos futuras, anexos e as referências bibliográficas.

CAPITULO II: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Energia Fotovoltaica (PV) é a conversão direta da luz solar em eletricidade. Ela tem sido usado como fontes de energia para calculadoras, relógios, bombagem de água, edifícios remotos, comunicações, satélites e veículos espaciais e em centrais de produção de energia em escala de megawatts (Goswami, 2015).

2.1 Células Fotovoltaicas

De acordo com Castro (2004), o principal elemento que entra na constituição de uma célula fotovoltaica é o silício. Um átomo de silício é formado por catorze prótons e catorze elétrons. Quando se constitui um cristal de silício, os átomos alinham-se segundo uma estrutura em teia (chamada teia de diamante), formando quatro ligações covalentes com quatro átomos vizinhos.

Para haver corrente elétrica é necessário que haja um campo elétrico, isto é, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula. Através do processo conhecido como dopagem do silício, que consiste na introdução de elementos estranhos com o objetivo de alterar as suas propriedades elétricas, é possível criar duas camadas na célula: a camada tipo p e a camada tipo n, que possuem, respetivamente, um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro (Goswami, 2015).

Ao adicionar o átomo de fósforo que contém cinco elétrons de valência, haverá um elétron em excesso formando a região N. Se por outro lado ao adicionar o Boro que contém três elétrons de valência, haverá falta de um elétron para satisfazer as ligações com um átomo de silício criando, assim a região P. A junção das duas regiões designa-se junção P-N (Pinho & Galdino, 2014) (Figura 1).

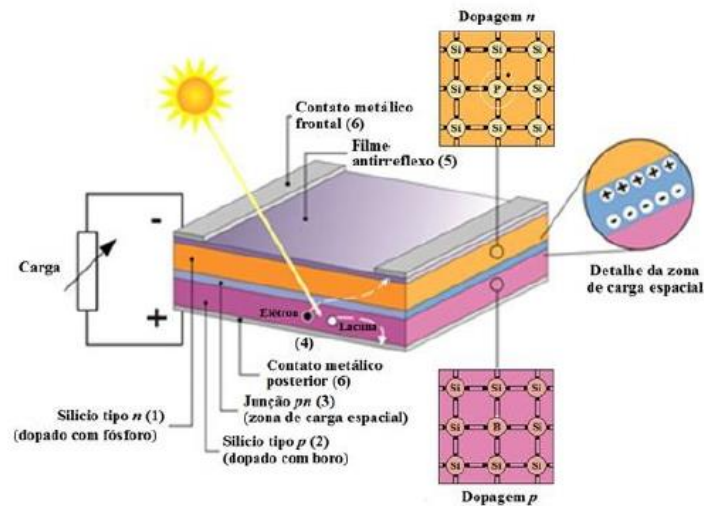


Figura 1: Estrutura física de uma célula fotovoltaica

Fonte: Pinho & Galdino, 2014

2.2 Tipos De Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas podem ser construídas a partir da junção P-N, onde o material utilizado é o silício (dentro dessa geração de células fotovoltaicas destacam-se as de silício monocristalino e policristalino), ou a partir da tecnologia dos filmes finos. Os materiais utilizados nesta tecnologia são CdTe (telúrio de cádmio), Si (silício amorfo), USi (silício microcristalino) (Padmanabhan, 2008).

Segundo Castro (2004), o silício monocristalino (c-Si) é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. A uniformidade da estrutura molecular resultante da utilização de um cristal único é ideal para potenciar o efeito fotovoltaico. O rendimento máximo atingido em laboratório ronda os 24%, o qual em utilização prática se reduz para cerca de 15%. A produção de silício cristalino é cara.

O silício policristalino (p-Si) é constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano, dispõe de uma quota de mercado de cerca de 30%. As descontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento de eletrões e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída (Luque & Hegedus, 2003).

Segundo o mesmo autor que tem sido citado, o silício amorfo não tem estrutura cristalina, apresentando defeitos estruturais que, em princípio, impediriam a sua utilização em células fotovoltaicas, uma vez que aqueles defeitos potenciavam a recombinação dos pares electrão-lacuna. No entanto, se o silício amorfo for adicionado uma pequena quantidade de hidrogénio, por um processo chamado hidrogenização, os átomos de hidrogénio combinam-se quimicamente de forma a minimizar os efeitos negativos dos defeitos estruturais.

2.3 Curva I-V De Uma Célula Fotovoltaica

A corrente eléctrica e uma célula fotovoltaica pode ser considerada como a soma das correntes de uma junção P-N no escuro (díodo semiconductor), com a corrente gerada pelos fotões absorvidos pela radiação solar. Esta corrente em função da tensão no dispositivo, representa a curva I-V (Gráfico 1). Os principais parâmetros destacados nessa curva são: I_{CC} (corrente eléctrica de curto circuito), V_{OC} (tensão de circuito aberto), P_{MP} (potência máxima) I_{MP} (corrente na máxima potencia) e V_{MP} (tensão na máxima potencia) (Grätzel, 2003).

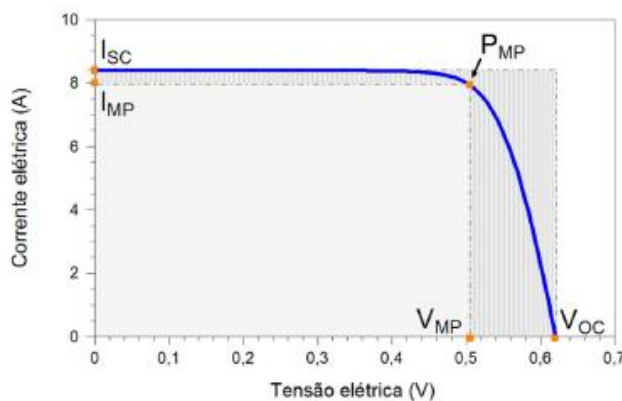


Gráfico 1: Curva característica de uma célula fotovoltaica

Fonte: Pinho & Galdino, 2014

A curva I-V de uma célula fotovoltaica é influenciada pela temperatura e radiação solar incidente. No Gráfico 2 ilustra-se a variação da curva I-V com a temperatura para a célula que tem vindo a servir de exemplo (Castro, 2004).

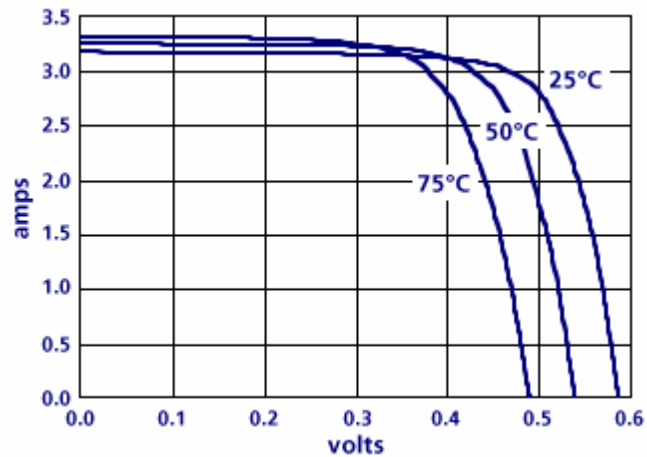


Gráfico 2: Variação da curva I-V com a temperatura

Fonte: Castro, 2004

No Gráfico 2 pode observar-se que:

- A potência de saída decresce com o aumento da temperatura;
- A tensão de circuito aberto decresce com a temperatura (aproximadamente $-2,3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$);
- A corrente de curto-circuito varia muito pouco com a temperatura, sendo esta variação habitualmente desprezada nos cálculos.

No Gráfico 3 ilustra-se a variação da curva I-V com a radiação incidente para a célula que tem vindo a ser analisada.

A Gráfico 3 mostra que:

- A potência de saída aumenta com o aumento da radiação incidente;
- A corrente de curto-circuito varia linearmente com a radiação incidente;
- A tensão de circuito aberto varia pouco com a radiação incidente, sendo esta variação, no entanto, mais importante para valores baixos de radiação incidente.

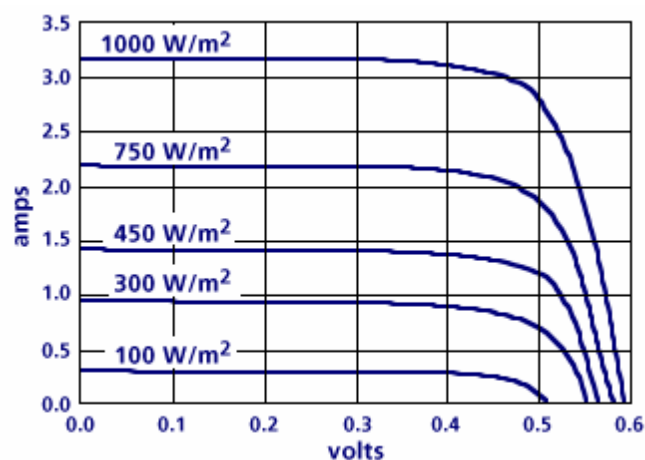


Gráfico 3: Variação da curva I-V com a radiação incidente

Fonte: Castro, 2004

2.4 Constituição De Um Sistema Fotovoltaico

Os principais elementos que entra na constituição de um sistema fotovoltaico são:

- Módulos FV;
- Inversor;
- Controlador carga;
- Baterias;

2.4.1 Módulos

A potência máxima de uma única célula fotovoltaica não excede 2 W, o que é manifestamente insuficiente para a maioria das aplicações. Por este motivo, as células são agrupadas em série e em paralelo formando módulos. A associação em série, paralelo e mistos dos módulos fotovoltaicos designa de painéis (Luque & Hegedus, 2003).

Os módulos fotovoltaicos ligados em série constituem aquilo que normalmente se designa por fileiras, e são utilizados módulos do mesmo tipo, de forma a minimizar as perdas de potência no sistema (Carneiro, 2010).

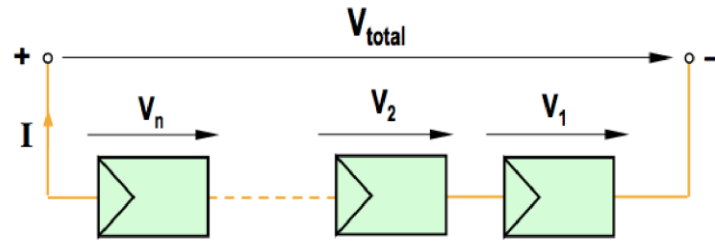


Figura 2: Ligação serie dos módulos fotovoltaicos

Fonte: Carneiro, 2010

$$V_1 = V_2 = \dots V_n = V \Rightarrow V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n = n \cdot V \quad (1)$$

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I \quad (2)$$

Segundo o mesmo autor citado acima, a associação em paralelo de módulos fotovoltaicos é efetuada quando pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo.

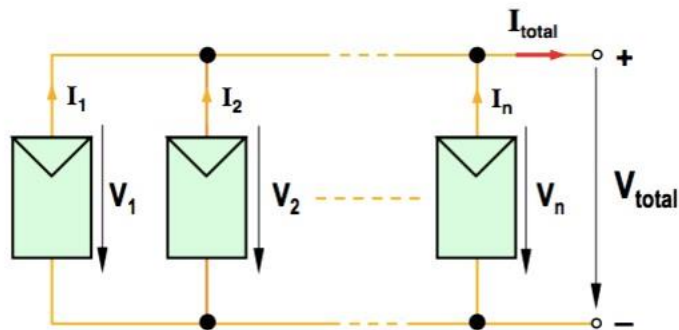


Figura 3: Ligação em paralela dos módulos fotovoltaicos

Fonte: Carneiro, 2010

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \Rightarrow I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = n \cdot I \quad (3)$$

$$V_{total} = V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (4)$$

Nos sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, é muito comum efetuar-se a associação de várias fileiras de módulos ligadas em paralelo.

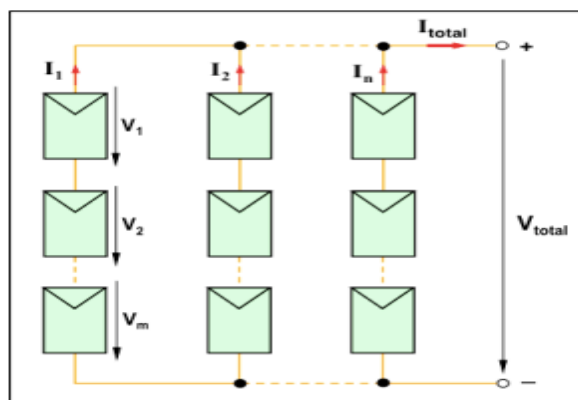


Figura 4: Ligação em mista dos módulos fotovoltaicos

Fonte: Carneiro, 2010

2.4.2 Inversor

O inversor solar estabelece a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede AC ou a carga AC. A sua principal tarefa consiste em converter o sinal elétrico DC do gerador fotovoltaico num sinal elétrico AC, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado. Dependendo da aplicação, existe uma distinção entre os inversores utilizados nos sistemas com ligação à rede (inversores de rede) e nos sistemas autónomos (inversores autónomos) (Filho, 2012).

Os atuais inversores solares são capazes de realizar as seguintes funções (Skvarenina, 2001):

- ✓ A conversão da corrente DC gerada pelo gerador fotovoltaico em corrente AC, de acordo com os requisitos técnicos e de segurança que estão estipulados para a ligação á rede;
- ✓ Ajuste do ponto operacional do inversor ao MPP do gerador fotovoltaico (rastreamento do ponto MPP);

- ✓ Registo de dados operacionais e sinalização (visualizadores, armazenamento de dados, transferência de dados);
- ✓ Dispositivos de proteção AC e DC (proteção de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobretensões e equipamento de proteção da interligação com a rede recetora).

2.4.3 Controlador Carga

Os controladores de carga são incluídos nos sistemas fotovoltaicos com o objetivo de proteger o banco de baterias contra carga e descargas excessivas, aumentando a sua vida útil. As principais tarefas de um moderno controlador de carga são as seguintes (Roberts, 1991):

- ✓ Ótima carga do acumulador;
- ✓ Proteção contra sobrecargas;
- ✓ Prevenção de descargas indesejáveis;
- ✓ Proteção contra profundas descargas;
- ✓ Informação do estado da carga;
- ✓ Acionam alarmes em caso de um problema.

Entre as topologias de controladores de cargas destaca-se os controladores shunt e série. Dado que a tensão da bateria determina o ponto operacional da curva característica do gerador fotovoltaico, e que por esse motivo o gerador fotovoltaico raramente funciona no ponto MPP, os controladores de carga “*Shunt*” e série nem sempre conseguem fazer o melhor aproveitamento da energia solar disponível. As perdas de energia podem elevar-se a valores situados entre 10 % e 40 %, dependendo da tensão da bateria, da radiação solar e da temperatura. Isto pode ser evitado utilizando um sistema de rastreamento MPP, que consiste essencialmente num conversor DC/DC regulado, aplicados nos controladores de carga MPP (Pinho & Galdino, 2014).

Um controlador “Shunt” reduz continuamente a potência do módulo, a partir do momento em que é atingida a tensão máxima de carga da bateria. Neste caso, como o gerador continua

a gerar energia, a corrente é regulada e curto-circuitada através de um elemento “Shunt” (elemento controlado). A energia não aproveitada é assim dissipada sob a forma de calor. Os módulos podem tomar a corrente de curto-circuito sem qualquer problema, limitando-se a sofrer um ligeiro aquecimento adicional. Este método é ideal para a bateria, uma vez que a carga da bateria é feita de forma eficiente e em total segurança (Procel, 2004).

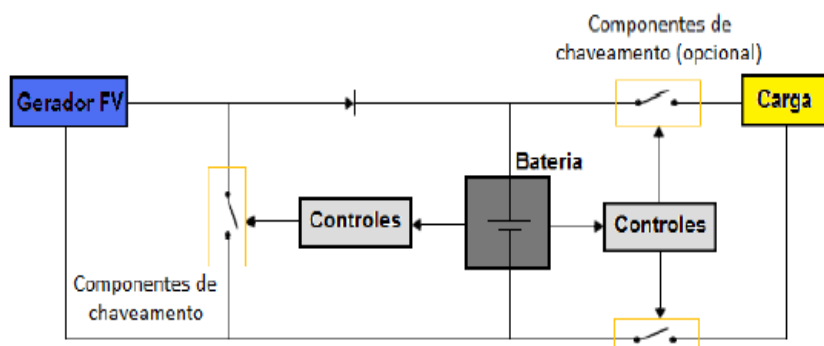


Figura 5: Esquema de um controlador de carga paralelo

Fonte: Pinho & Galdino, 2014

Segundo o mesmo autor que tenho vindo a citar, um controlador serie pode usar um rele eletromecânico ou um dispositivo semicondutor de chaveamento para desconectar o gerador fotovoltaico quando a bateria esta completamente carregada. Normalmente neste tipo de controlador é necessário usar um díodo de bloqueio.

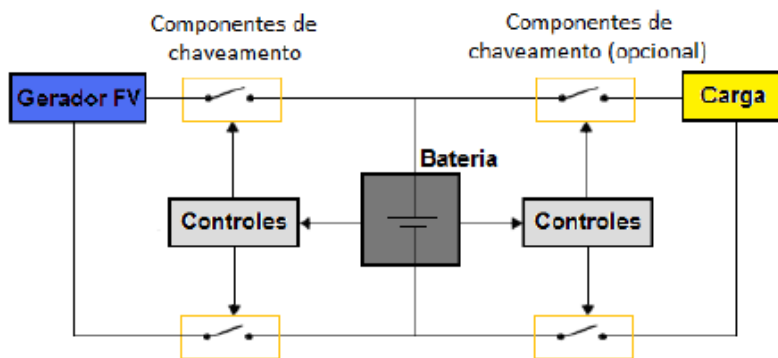


Figura 6: Esquema de um controlador de carga serie

Fonte: (Pinho & Galdino, 2014)

2.4.4 Baterias

O armazenamento de energia é um tema central no aproveitamento da energia solar nos sistemas autónomos, dado que a produção e o consumo de energia não coincidem, quer ao longo do dia quer ao longo do ano. A energia solar produzida durante o dia não é, normalmente, utilizada antes no início da noite, sendo por este motivo necessário armazená-la. Os períodos de dias sucessivos sem sol também devem ser tidos em conta. Em sistemas FV o armazenamento de energia é efetuado mediante ao uso de baterias.

Uma bateria é um conjunto de células eletroquímicas, conectadas em serie e em paralelo, capazes de armazenar energia. Nos sistemas fotovoltaicos é aplicado as seguintes baterias: ácido de chumbo, AGM, Gel e níquel-cádmio (Zobaa, 2013).

2.5 Tipos De Sistemas Fotovoltaico

Dentro os tipos de sistemas fotovoltaicos destacam-se os sistemas off grid, on grid e híbridos.

Os sistemas autónomos constituíram o primeiro campo de operação económica da tecnologia fotovoltaica. A aplicação deste tipo de sistemas autónomos, observa-se onde o fornecimento de energia através da rede pública de distribuição de energia elétrica, não se verifica por razões técnicas e/ou económicas. Nestes casos, os sistemas fotovoltaicos autónomos podem constituir alternativas com uma vertente económica de elevado interesse (Pinho & Galdino, 2014).

Na prática, os sistemas autónomos precisam de acumular energia, para compensar as diferenças existentes no tempo entre a produção de energia e a sua procura. As baterias recarregáveis são consideradas apropriadas como acumuladores de energia. Em geral, a utilização de acumuladores obriga a que se torne indispensável a utilização de um regulador de carga adequado que faça a gestão do processo de carga, por forma a proteger e garantir uma elevada fiabilidade e um maior tempo de vida útil dos acumuladores. Em conjunto com o painel solar o sistema deve incluir também (Torres, 2009) (Figura 7) :

- Baterias, de modo a assegurar a alimentação dos consumos nos períodos em que o recurso (radiação solar) não está disponível. As baterias são carregadas sempre que a radiação solar disponível permite gerar uma potência superior a potência de carga da bateria;
- Controlador de carga, para efetuar a gestão da carga da bateria;
- Inversor, no caso de haver cargas a alimentar em CA.

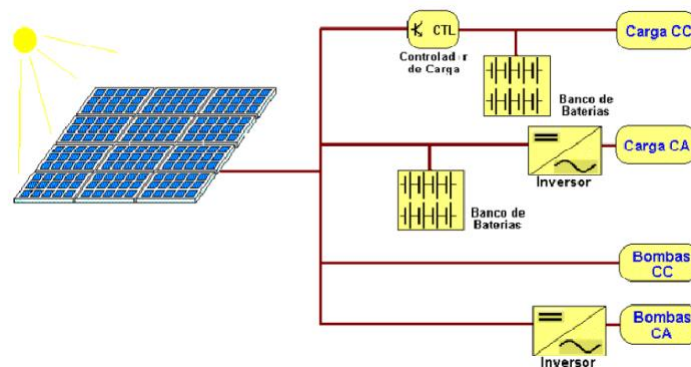


Figura 7: Sistema fotovoltaico isolada

Fonte: Torres, 2009

Os sistemas fotovoltaicos conectados com a rede elétrica são aplicados em edifícios com forma de reduzir o consumo energético, ou em centrais de elevadas potências conectada diretamente na rede de distribuição pública. Esses tipos de sistema não utilizam armazenamento de energia e por isso são mais eficientes que os sistemas autônomos, além de serem mais baratos. Num sistema fotovoltaico conectado á rede é constituído por : gerador fotovoltaico, inversor On-grid e medidores de energia (Pinho e Galdino,2014) (Figura 8).

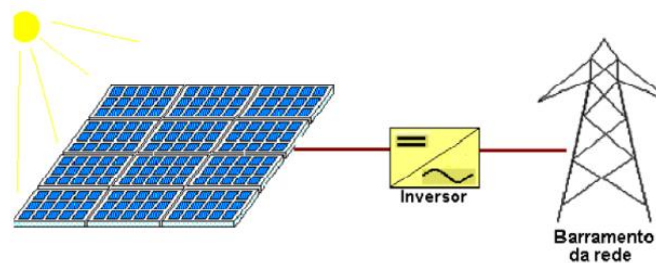


Figura 8: Sistema Fotovoltaico On Grid

Fonte: Torres, 2009

Um sistema híbrido, mostrado na Figura 9, é aquele que utiliza conjuntamente mais de uma fonte de energias para geração de energia elétrica. Esses sistemas podem ser utilizados em sistemas fotovoltaicos, eólicos, diesel, hídricos entre outros. Dentre as fontes energéticas utilizadas pelos sistemas híbridos as que mais sobressaem são a solar e a eólica, ambas de caráter renovável (Freitas, 2008).



Figura 9: Sistema fotovoltaico híbrido

Fonte: Torres, 2009

CAPITULO III: SISTEMA CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

3.1 Sistemas de Aquisição de Dados

Sistemas de monitoramento fotovoltaico possuem diversos elementos que trabalham em conjunto para obter os dados de maneira rápida e precisa. Um dos principais componentes desse tipo de sistema são os sensores, os quais são responsáveis por medir as variáveis em tempo real.

Outro componente importante é a unidade de condicionamento de sinal. Esta, por sua vez, amplifica o sinal do sensor preparando-o para o processamento. O sinal é processado em um microcontrolador que transmite a saída desses sinais condicionados para um computador em tempo real ou usando um protocolo específico. O computador usa esses dados para análise, visualização e armazenamento. Baseado em análises internas ou externas comandadas pelo usuário, o computador fornece comandos ao sistema para processamento e tomada de ações futuras. A Figura 10 exibe um diagrama de blocos genérico com os elementos básicos que compõem um sistema de monitoramento fotovoltaico (Chesini & Gabe, 2012).

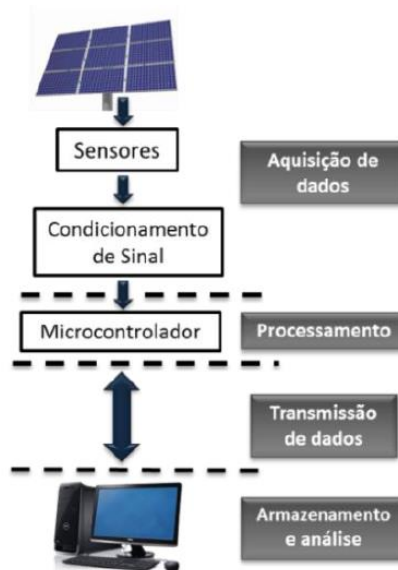


Figura 10: Diagrama de blocos de um sistema de monitoramento genérico

Chesini & Gabe, 2012

Entretanto, após estudos anteriores sobre sistemas de monitoramento, fica claro que os fatores operacionais e meteorológicos mais preeminentes para análise em sistemas fotovoltaicos são: tensão e corrente gerada pelo módulo, sua temperatura e a irradiância incidente sobre o mesmo. Outros parâmetros passíveis de serem analisados dependem de cada configuração das plantas fotovoltaicas (Madeti & Singh, 2017).

A transmissão dos dados do sistema de aquisição pode ocorrer de maneira cabeada, utilizando os mais diversos padrões de meio físico (USB, EIA-232, EIA-485, Ethernet) ou sem fio, ancorada em diferentes tecnologias (GSM, GPRS, Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) (R. Mukaro, Carelse , & Olumekor, 1998).

3.2 Arduíno

O Arduíno é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas do Arduíno são capazes de realizar a leitura de sensores, botão ou uma mensagem no Twitter e transformá-lo em uma saída ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online. (Arduino, 2019).

A linguagem de programação utilizada com o Arduíno é uma implementação do “*Wiring*” (linguagem C++), e baseada no ambiente de programação “*Processing*”. Trata-se de uma linguagem de programação de código aberto e ambiente de desenvolvimento integrado que suporta programação gráfica. A ferramenta IDE é fornecida pelo próprio fabricante do Arduíno e descarregado do próprio sítio. Na Figura 11, mostra-se o Interface IDE. Este ambiente de desenvolvimento é construído em Java, compatível com qualquer sistema operativo existente no mercado (Evans, 2008).

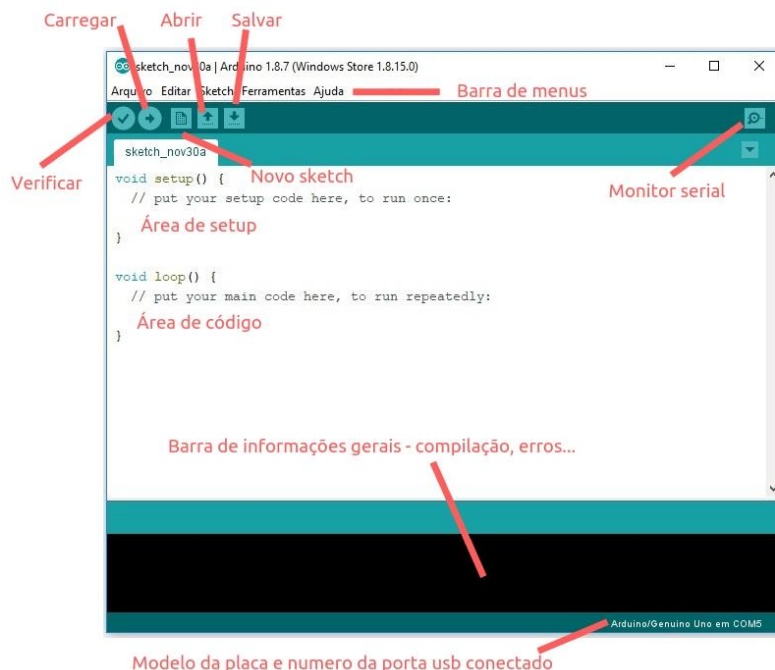


Figura 11: descrição da IDE arduino

Fonte: Silva T. , 2019

3.2.1 Módulos para Arduíno

Para aumentar as funcionalidades do Arduíno, é acrescentado um conjunto de módulos, entre os casos destaca-se: modulo Wifi (Modulo ESP8266), Módulo GSM SIM900, Módulo XBee-PRO ZB, Modulo Ethernet entre outros.

a) Modulo Wifi

O módulo ESP8266 da Figura 12 é um SOC (Sistema em Chip) com protocolo TCP/IP² integrado que consegue dar a qualquer microcontrolador acesso à rede *Wi-Fi*. O ESP8266 é

² é um conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede. Seu nome vem de dois protocolos: o TCP (Transmission Control Protocol - Protocolo de Controle de Transmissão) e o IP (Internet Protocol - Protocolo de Internet). O conjunto de protocolos pode ser visto como um modelo de camadas (Modelo OSI), onde cada camada é responsável por um grupo de tarefas.

capaz tanto de hospedar uma aplicação quanto descarregar todas as funções de redes *Wi-Fi* a partir de outro processador de aplicação (Chesini & Gabe, 2012).

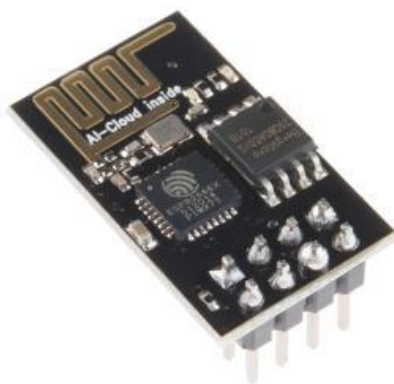


Figura 12: Módulo ESP8266 para conexões Wi-Fi

Fonte: Chesini & Gabe, 2012

Esse SOC possui um processador de 32bit que roda a 80 MHz, 64 KB de memória RAM de instruções e 96 Kb de dados (Espressif Systems IOT Team, 2015). Possui também uma memória Flash de 512 KB, conectores GPIO, barramentos I2C, SPI, UART entre outros recursos. Esse módulo é compatível com os padrões IEEE 802.11 b/n/g podendo ser amplamente utilizado na grande maioria das redes.

b) Modulo Xbee

Os módulos XBee são adequados para aplicações de baixo consumo e de baixo custo. Utilizam protocolo de redes *ZigBee* que facilita a configuração. A frequência de transmissão é de 2,4 GHz, a potência de transmissão é de 50 mW com alcance máximo estimado até 1,6 Km. Para facilitar a transmissão dos dados a antena omnidirecional propaga a onda eletromagnética em todas as direções. Esse tipo de antena tem uso facilitado por não precisar de direcionamento. São usadas tanto nas estações de base quanto nas placas de acesso (Figura 13) (Halmeman, 2014).



Figura 13: Modulo XBee

Fonte: Halmeman, 2014

c) Modulo Radio Frequência

O módulo RF 433 MHz é constituído por duas partes: o transmissor, responsável por emitir o sinal e o recetor, responsável por captar os sinais vindos do transmissor. O transmissor utiliza a frequência 433 MHz, operando com uma tensão variando entre 3.5 e 12 Volts. Consegue alcançar entre 20 e 200 metros, transmitindo dados a uma velocidade de 4 Kbps. O recetor utiliza a frequência 433.92 MHz, operando com tensão igual a 5 Volts e corrente igual a 4 mA, tendo sensibilidade igual a 105 dB (Olivera & Lima, 2017).

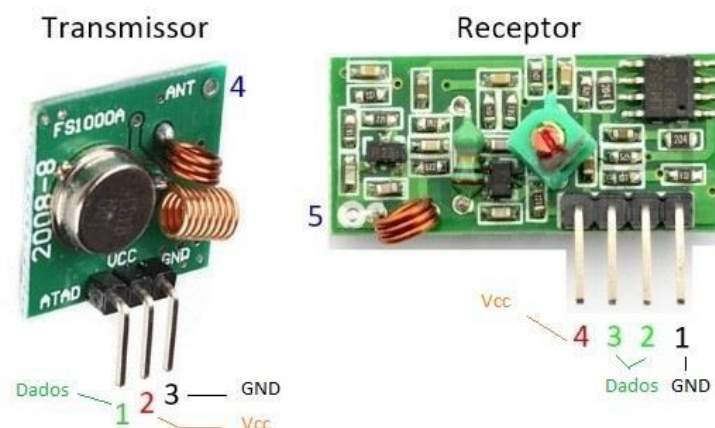


Figura 14: Modulo RF 433 Mhz

Fonte: Oliveira e Lima, 2017

d) Módulo GSM

O Módulo GSM SIM900 é uma placa que é compatível com o Arduino UNO e o Arduino MEGA capaz de enviar e receber mensagens eletrônicas e fazer ligações de voz (possui entrada de áudio para permitir a entrada e saída de áudio). Funciona em 4 bandas de frequência comuns (850, 900, 1800 e 1900 MHz). Na conexão com o Arduino UNO, a comunicação é feita por pinos que enviam esses comandos (Oliveira, 2016).



Figura 15: Modulo GSM900

Fonte: Oliveira, 2016

e) Modulo Ethernet

O Shield Ethernet W5100 consiste em um shield dotado de dois módulos, um módulo Ethernet baseado no chip ethernet Wiznet W5100, que irá permitir a conexão do Arduino com uma rede local e a internet, e um módulo para cartão micro SD. Sendo assim, percebe-se que é perfeitamente possível utilizar este módulo somente para ler/escrever dados em um cartão de memória ou apenas para conectar o Arduino UNO a uma rede local (Adilson thomsen,2014).



Figura 16: Modulo Ethernet

Fonte: Thomesen, 2014

3.3 Sensor

Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico/químico de maneira específica e que pode ser transformado em outra grandeza física para fins de medição e/ou monitoramento. Desta forma, o sensor associado a um módulo de transformação do estímulo em uma grandeza para fins de medição e/ou monitoramento pode ser definido como transdutor ou medidor, que converte um tipo de energia em outro (Amorim, 2010).

Os sensores podem ser agrupados em duas categorias (Bell, 2016):

- Os sensores analógicos são aqueles que respondem através de sinais analógicos, ou seja, sinais que, mesmo limitados em uma certa faixa, podem variar entre inúmeros valores de tensão intermediários.
- Já os sensores digitais baseiam-se em níveis de tensão bem definidos. Tais níveis de tensão podem ser descritos como Alto (High) ou Baixo (Low), ou simplesmente “1” e “0”, ou seja, esses sensores utilizam lógica binária, que é a base do funcionamento dos sistemas digitais.

3.3.1 Sensor DHT11

O DHT11 é um sensor de humidade relativa e temperatura com saída digital. Possui um sensor de humidade do tipo HR202 e um sensor de temperatura termistor NTC (semicondutor

sensível à temperatura, com coeficiente de resistividade negativo com o aumento da temperatura). Possui internamente um microcontrolador de 8 bits para tratar o sinal que emite. São calibrados de fábrica e gravados no programa que executa o microcontrolador. Possui tamanho pequeno, consome pouca corrente e encapsulamento simples (o que aumenta sua robustez) (Oliveira, 2016).

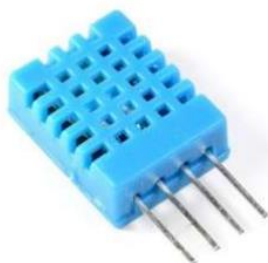


Figura 17: Sensor temperatura DHT11

Fonte: Oliveira 2016

3.3.2 Sensor Corrente CC e AC

Para a medição da corrente é aplicado um conjunto de técnicas entre os quais destaca-se:

- ✓ Medição de corrente baseada na primeira lei de Ohm;
- ✓ Medição de corrente baseada na primeira lei de indução de Faraday;
- ✓ Medição de corrente baseada no efeito do campo magnético.

Neste trabalho para medir a corrente CC foi usado o sensor corrente ACS712 (Figura 18). O circuito encapsulado ACS712-20A se destaca como uma solução para medição de corrente contínua e alternada. Esse circuito integrado é baseado no efeito Hall, possui uma alta isolamento e uma baixa impedância, fornecendo uma saída de tensão linear e proporcional a corrente que passa pelo dispositivo. A entrada da placa é ligada em série com o circuito do sistema fotovoltaico para que a corrente gerada pelos painéis passe pelo sensor. A Figura abaixo mostra a placa utilizada (Allegro MicroSystems LLC, 2006).

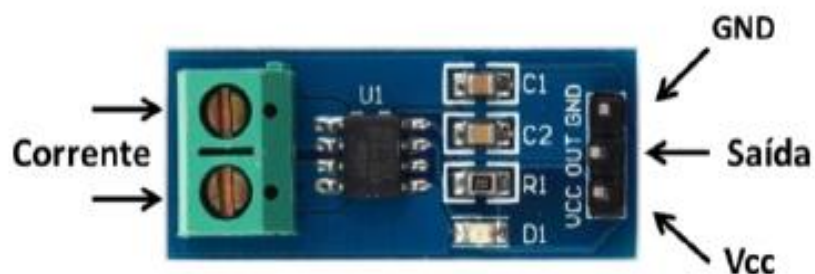


Figura 18: Sensor corrente ACS712

Fonte: Allegro MicroSystems LLC, 2006

O sensor de corrente SCT-013, mostrado na Figura 19, é muito versátil e tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada, ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas “abraçar” um dos fios ligados ao equipamento a ser monitorado. Este sensor será conectado de forma analógica aos outros mencionados ao microcontrolador (Barduco, 2018).



Figura 19: Sensor de corrente SCT-013

Fonte: Barduco, 2018

3.3.3 Medição de tensão CC e AC

A medição de tensão é um dos componentes principais na análise do potencial de geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico, fornecendo informações sobre o desempenho e possíveis interrupções na geração. Desse modo, o sistema projetado conta com um sensor de tensão para medição da tensão CC de saída do módulo.

Para medir tensão CC, a solução mais barata e eficiente, e invariavelmente a mais utilizada, faz o uso de um divisor de potência resistivo. A Tensão de entrada (saída do módulo) é aplicada ao longo das duas resistências e a tensão de saída é medida em paralelo com a resistência de menor valor (Chesini & Gabe, 2012).

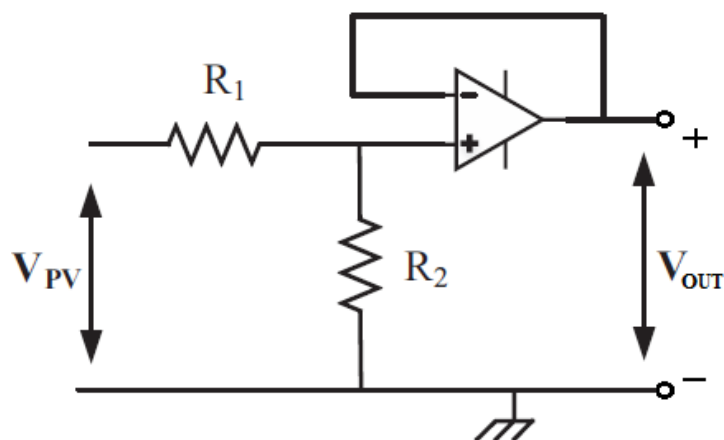


Figura 20: Circuito de medição de tensão CC

Fonte: Chesini & Gabe, 2012

A equação que reproduz o circuito pode ser representada por (1), sabendo que V_{PV} é a tensão de saída do módulo fotovoltaico e que V_{OUT} é a tensão de saída desejada.

$$V_{OUT} = V_{PV} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

Para medição de Tensão AC na saída do inversor, neste trabalho foi usado o modulo ZMPT101B que é capaz de detetar a existência de tensão alternada em um circuito e fazer a medição do valor de tensão com agilidade e segurança. O módulo sensor de tensão ZMPT101B é um sensor fabricado a partir do transformador de tensão ZMPT101B. Garante uma alta precisão e boa consistência para medição de tensão na gama de 0 a 250V AC. Possui um potenciômetro para a ajustar a saída do ADC.



Figura 21: Medição de Tensão AC

Fonte: Adaptado de, www.aliexpress.com

3.3.4 Medidores de Radiação Solar

Existem diversas formas de medir a irradiância (direta, difusa ou global), sendo que esses sensores são baseados em diversos princípios: termoeletricos, calorimétricos, termomecânicos e fotovoltaicos (Madeti & Singh, 2017). Há dois sensores comumente usados para medição dessa grandeza:

- ✓ Pireliómetro: Esse dispositivo é usado para medição do fluxo de radiação direta. O sensor é formado por um tubo com uma pequena abertura (para excluir toda a radiação difusa) onde o elemento sensor situa-se no fundo do tubo.
- ✓ Piranómetro: Esse dispositivo é usado para medição da radiação global. Consiste em duas capas de vidro hemisféricas, com o sensor centrado no eixo da esfera. Esse dispositivo pode ser usado também para medir radiação difusa se o componente de radiação direta for eliminado. Os piranómetros podem ser do tipo fotovoltaicos (usam

uma pequena célula de referência como sensor) e do tipo termoeletricos (usam termopares conectados a lâminas brancas e pretas ligadas em série).

3.4 Elipse SCADA

Elipse SCADA possui grande versatilidade em seus recursos que facilitam e agilizam a tarefa de desenvolvimento da aplicação supervisora. O software é totalmente configurável pelo usuário, permite a monitoração de variáveis em tempo real, através de gráficos e objetos que estão relacionados com as variáveis físicas de campo. Também é possível fazer acionamentos e enviar ou receber informações para equipamentos de aquisição de dados. Além disso, o software conta com uma linguagem de programação chamada Elipse Basic, onde é possível automatizar diversas tarefas a fim de atender as necessidades específicas do projeto (Müller, 2017).

O Elipse SCADA está disponível em quatro versões, sendo elas View, MMI (Man Machine Interface), Pro (Professional) e Power.

- ✓ A versão View é indicada para aplicações simples, como por exemplo, uma interface com o operador para monitoração e acionamentos.
- ✓ Esta versão é indicada para aplicações de médio porte, onde é necessário o armazenamento de dados, tratamento de informações e criação de relatórios complexos.
- ✓ Pro (Professional) Esta versão é indicada para aplicações de qualquer porte, que envolvam comunicação em rede, seja local ou remota ou ainda que necessitem a troca de informações com bancos de dados.
- ✓ Power é a Versão especialmente desenvolvida para supervisão de subestações e sistemas elétricos. Permite conexão com IEDs (Intelligent Electronic Device) e RTU

(Remote Terminal Units) através de qualquer protocolo de comunicação, inclusive IEC 870- 5/DNP 3.0.

3.5 Linguagem De Programação

Neste item é abordado as principais linguagens de programação para criar páginas web. Sendo elas o HTML, CSS, JAVASCRIPT e PHP.

3.5.1 HTML

O HTML (*Hyper Text Markup Language*) é a linguagem padrão para criação de páginas na web. Os elementos HTML são representados por *tags*, as quais definem o cabeçalho, parágrafo, tabela. O navegador não mostra estas *tags*, mas utiliza as mesmas para formatar o conteúdo da página web (W3SCHOOLS, 2017a).

Abaixo estão listadas as funcionalidades de algumas tags HTML:

- <!DOCTYPE html>: Define o tipo do documento.
- <html>: É o elemento raiz da página HTML.
- <head>: É o elemento onde são definidas as informações de cabeçalho.
- <title> : É o elemento onde é definido o título da página web.
- <body> : Dentro desta tag será definido o que estará visível na página web.
- <h1>: Elemento que define títulos e subtítulos dentro do conteúdo visível da página.
- <p>: Elemento que define um parágrafo dentro do conteúdo visível da página.

3.5.2 CSS

CSS (Cascading Style Sheets) é uma linguagem de estilo usada para descrever a apresentação de um documento escrito em HTML. O CSS descreve como elementos são mostrados na tela e é fundamental para a formatação visual do site (W3SCHOOLS, 2017b).

3.5.3 JavaScript

JavaScript é uma linguagem leve, interpretada e baseada em objetos com funções de primeira classe, mais conhecida como a linguagem de script para páginas Web. O JavaScript pode ser aplicado em um documento HTML e ser usado para criar interações dinâmicas em sites. O JavaScript possui diversas ferramentas, entre elas as APIs (Application Programming Interfaces) disponibilizadas em navegadores web, possuem várias funções como criar HTML e atribuir estilos de CSS, gerar gráficos, entre outros (Mozilla, 2017).

3.5.4 PHP

PHP é uma linguagem de programação de ampla utilização para desenvolvimento para a web e pode ser implementada dentro do código HTML. O objetivo principal da linguagem é permitir a desenvolvedores escreverem páginas que serão geradas dinamicamente e com alta velocidade de resposta (PHP, 2017).

Uma das grandes vantagens do PHP é que ele é gratuito. Outra característica importante é que o PHP é um software com código-fonte aberto. O código-fonte do PHP e sua documentação detalhada também estão disponíveis no site oficial (Niederauer, 2004)

Diversos bancos de dados são suportados pelo PHP como MySQL, PostgreSQL, Sybase, Oracle, SQL Server e muitos outros (Niederauer, 2004). O banco de dados escolhido para este projeto será o MySQL, seu funcionamento será detalhado no próximo item.

3.6 MYSQL

O MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), *open source*, que utiliza a linguagem SQL (Linguagem de Consulta Estruturada, do inglês Structured Query Language) como interface. É atualmente um dos sistemas de gerenciamento de bancos de dados mais populares da Oracle Corporation, com mais de 10 milhões de instalações pelo mundo (Bell, 2016).

Para criar uma base de dados em MSQL é necessário recorrer a comandos SQL, que são classificados em quatro grupos, de acordo com suas principais funções (Ferrari, 2007):

- ✓ DDL (Definition Data Language): são todos aqueles comandos usados para criar e alterar tabelas que compõem o banco de dados;
- ✓ DML (Data Manipulation Language): comandos usados para extrair informações das tabelas, ou seja, para manipular os dados existentes;
- ✓ DCL (Data Control Language): trata-se de um conjunto de comandos usado em sistemas multiusuário para definir os privilégios de acesso aos dados a cada usuário. Os comandos de controlo de acesso aos dados são usados para implementar segurança e privacidade em bancos de dados.
- ✓ DQL - Data Query Language: usado é a instrução SELECT, que é usada como recuperação de informações do banco de dados.

O quadro abaixo mostra um resumo dos comandos SQL.

	Comandos	Descrição
DDL	CREATE	Cria uma nova tabela, uma exibição de uma tabela ou outro objeto no banco de dados
	ALTER	Modifica um objeto de banco de dados existente, como uma tabela.
	DROP	Exclui uma tabela inteira, uma exibição de uma tabela ou outro objeto no banco de dados.
DML	INSERT	Cria um registro
	UPDATE	Modifica registros
	DELETE	Exclui registros
DCL	GRANT	Dá um privilégio ao usuário
	REVOKE	Retorna privilégios concedidos pelo usuário
DQL	SELECT	Recupera determinados registros de uma ou mais tabelas

Quadro 1: Comandos SQL

Fonte: SQL Tutorial, 2019

Existem vários programas que auxiliam o acesso a base de dados MySQL. O que será utilizado neste projeto é o phpMyAdmin. O phpMyAdmin é um software livre escrito em PHP, ele realiza a administração do MySQL através de uma página web. A Figura 19 mostra a tela de acesso ao phpMyAdmin.

4.2 Parâmetros Ambientais da Cidade do Mindelo

a) Radiação Solar

São Vicente tem um clima quente e raramente são registadas precipitações mesmo nos meses mais húmidos. Estudos realizados, pela empresa *Gesto Energy*, para o PERCV (Plano Energético Renovável de Cabo-Verde), identificaram várias zonas disponíveis na ilha, com boas características para a implementação de centrais fotovoltaicas. Conclui-se que o nascer do sol ocorre, aproximadamente todo o ano, as 8 horas e que o pôr-do-sol acontece por volta das 19:30, em alguns meses é por volta das 20:00 horas.

A ilha apresenta uma média da radiação solar anual de 2210 kWh/m². Este valor ligeiramente superior ao da média nacional, que se situa nos 1800 kWh/m²/ano, para a inclinação e exposição natural do terreno.

Entre os meses de Março a Agosto registam-se maiores incidências da radiação solar na ilha, a partir de Agosto a incidência da radiação solar baixa até Dezembro que é o mês com menor incidência da radiação solar. A média da radiação solar diária no Mindelo é 6,05 KWh/m²/dia (Gráfico 1).

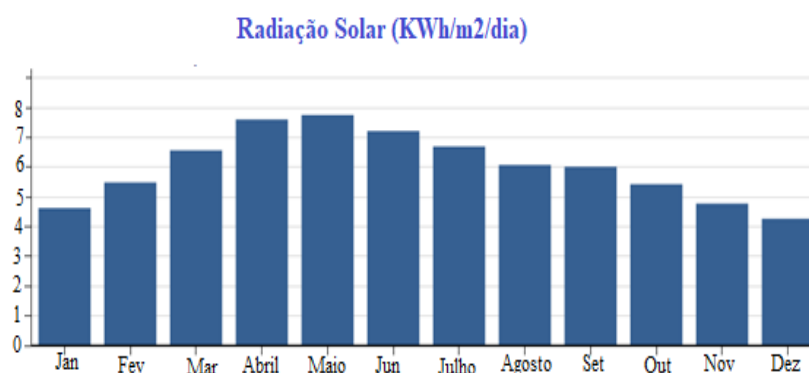


Gráfico 1: Radiação solar no Mindelo

Fonte: Adaptado de Retscreen³

³ é um software que possibilita a total identificação, avaliação e otimização da viabilidade técnica e financeira de possíveis projetos de energia renovável e de eficiência energética.

b) Velocidade do Vento

A ilha de São Vicente tem um grande potencial eólico. Verificam-se ventos com velocidades acima dos 8 m/s, é a ilha que apresenta a maior velocidade média anual do vento (Gráfico 2).

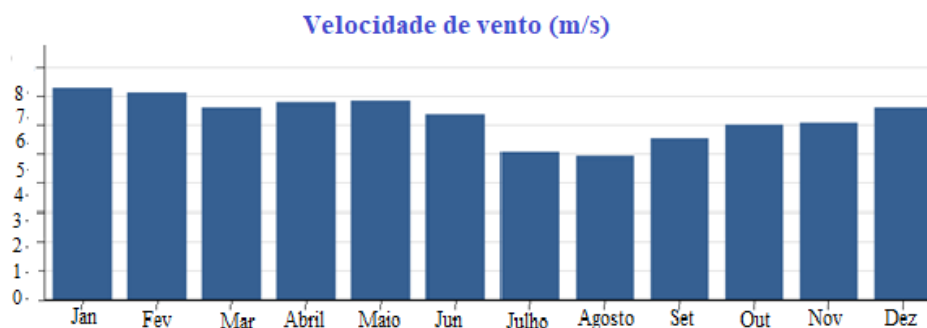


Gráfico 2: Velocidade do Vento no Mindelo

Fonte: Adaptado de Retscreen

c) Temperatura do Ar

A ilha de São Vicente apresenta um clima quente e regular, com uma temperatura média anual a volta de 24° C. O facto de ser uma ilha ventosa, torna os períodos de grande calor mais suportáveis do que em regiões de outras ilhas (Gráfico 3).

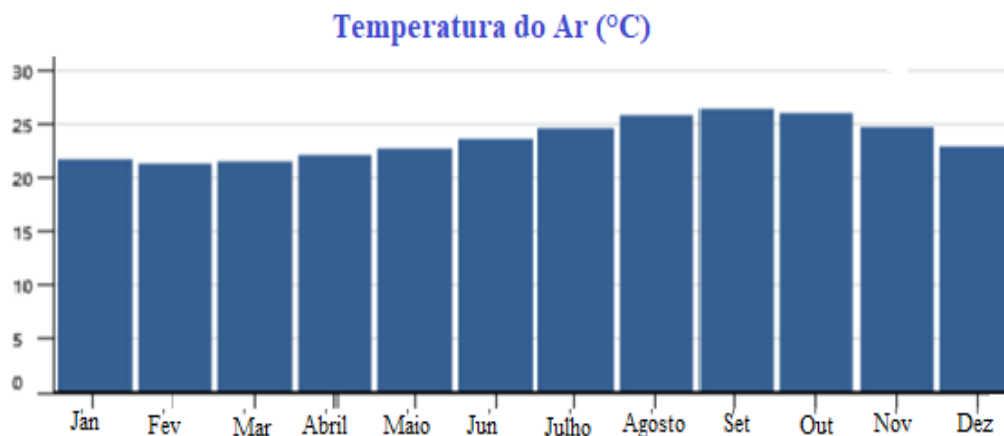


Gráfico 3: Temperatura do ar no Mindelo

Fonte: Adaptado de Retscreen

4.3 Descrição do Sistema Proposto

O sistema Fotovoltaico da universidade do Mindelo é constituído por 6 inversores (3 inversores para o sistema On -grid e 3 inversores para o sistema Híbrido). Esses inversores são de fabricantes diferentes o que implica que cada inversor tem o seu próprio sistema de monitoramento.

Com base neste facto optou-se por desenvolver um sistema de monitorização, para o sistema fotovoltaico On-Grid e Híbrido da Universidade do Mindelo. Este sistema é constituído por um conjunto de telas, uma tela que irá permitir medir os parâmetros ambientais do nosso sistema, como a velocidade do vento, temperatura, humidade e a radiação solar, que vai permitir fazer o cálculo da quantidade de energia disponível no sistema em função da área e outra tela para medir os parâmetros dos inversores.

Para efetuar o controlo do sistema On grid, é instalado um conjunto de sensores de corrente DC e também foi projetado um sensor de tensão aplicando o conceito de divisor de tensão. Na saída do inversor é instalada tanto um sensor de tensão AC como um sensor de corrente AC.

É de salientar ainda que será instalado sensores para medir a frequência, visto que se a frequência estiver muito acima ou abaixo de 50Hz, deve-se realizar a desligação do sistema de forma automática.

Por meio da comunicação serial do Arduino e a porta do computador, foi criado um aplicativo no software Elipse SCADA, que a partir de *tags* pré-definidas no código Arduino, os dados do sensor são enviados para este aplicativo. O aplicativo possuiu um sistema de login.

Visando baixo custo de aquisição, facilidade de implementação, eficiência/compatibilidade com as operações necessárias, o sistema de aquisição de dados proposto nesse trabalho se baseia na plataforma Arduino. O Arduino é uma placa de prototipagem eletrônica de

hardware livre munida de um microcontrolador da Atmel AVR, com suporte a uma linguagem de programação essencialmente baseada em C/C++.

Dentre as diversas opções, a placa escolhida é o Arduíno Mega2560. Essa placa utiliza um microcontrolador ATmega2560 de 16 Mhz, possui 256 KB de memória flash, 8 KB de RAM, 4 canais de comunicação serial, 16 entradas analógicas com 10 bits de resolução, 54 pinos de entrada/saída digital e 6 pinos de interrupção externa.

Os dados coletados pelo controlador são transmitidos para um servidor, via o módulo Ethernet, que hospeda um banco de dados, onde o valor das grandezas coletadas ficarão armazenadas. A conexão com o controlador se dá por meio de uma porta Serial. Essa conexão permite ao Arduíno tanto exercer funções de programação no módulo, quanto solicitar informações e requisições que façam uso do protocolo TCP/IP embutido no Chip.

Os dados relativos aos valores das grandezas mensuradas são transmitidos e então armazenados em um banco de dados. O banco utilizado é estruturado na plataforma MySQL, a qual é um sistema de gerenciamento de banco de dados que usa a linguagem SQL (*Structured Query Language*) como interface.

O MySQL é atualmente o banco de dados livre mais usado atualmente, devido à sua ubiquidade em plataformas heterogêneas e pilha de aplicativos, além do seu desempenho conhecido, confiabilidade e facilidade de uso.

A escolha do armazenamento em um banco de dados frente a outros métodos, tais como a utilização de um cartão de memória ou transmissão para um computador, é fundamentalmente pelo fato dos dados serem armazenados no banco de dados. Isso, além de manter os dados seguros contra qualquer mudança acidental ou perdas, permite que os dados sejam acessados remotamente, flexibilizando a manipulação da informação e a criação de aplicações variadas que façam o uso desses dados.

A Figura 23, mostra a descrição do sistema proposto.

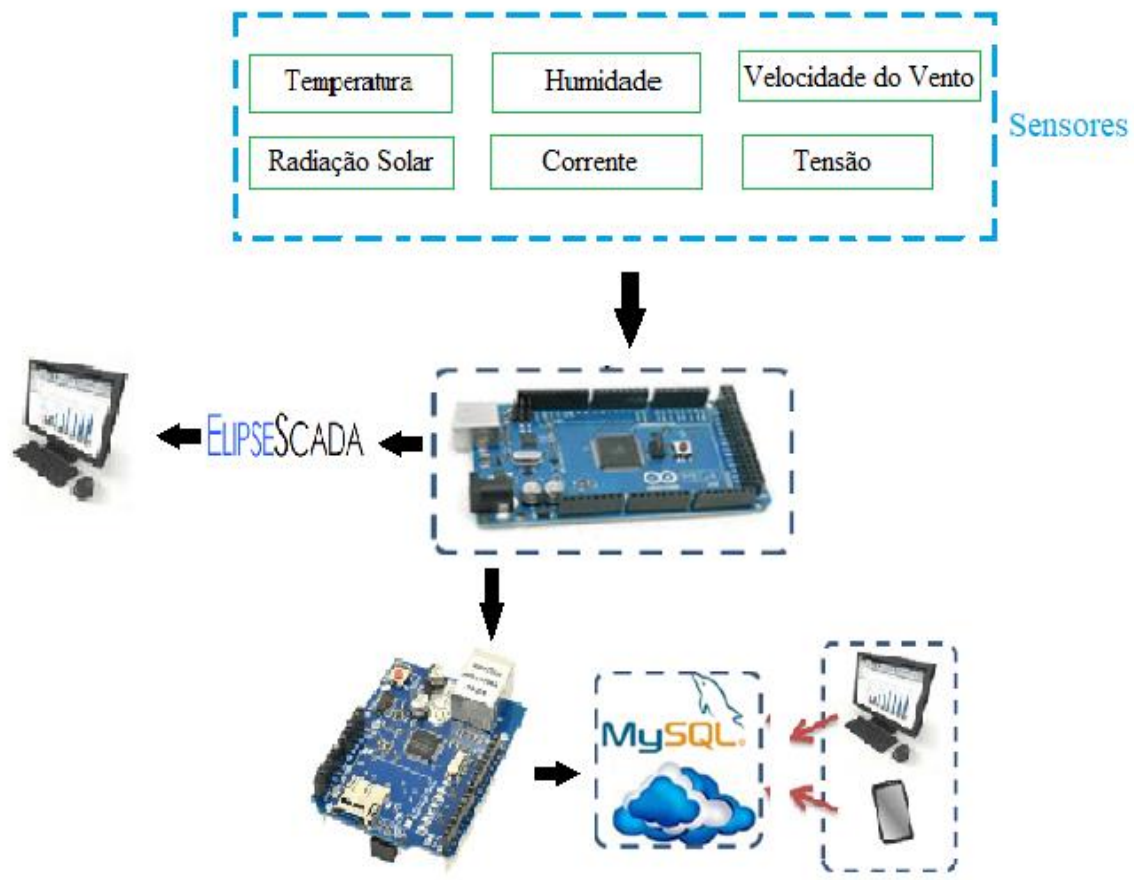


Figura 23: Descrição do sistema proposto

Fonte: Própria

4.4 Desenvolvimento do sistema de Controlo com Arduino

No sistema de controlo a ser desenvolvido, será dividido em duas partes:

- ✓ Medição dos parâmetros ambientais;
- ✓ Medição dos parâmetros dos inversores.

Para cada etapa do sistema de controlo, é necessário ter um Arduino para realizar a monitorização dos parâmetros.

a) Medição dos parâmetros dos Ambientais

Para medir os parâmetros ambientais, será instalado um conjunto de sensores, sendo elas:

- ✓ Sensor temperatura DHT11- para medir a temperatura e humidade;
- ✓ Sensor pressão- para medir os valores da pressão ambiente;
- ✓ Anemómetro- para efetuar as medições da radiação solar;
- ✓ Piranómetro- medir a radiação solar.

As principais características dos sensores são apresentadas no Anexo 2. O código desenvolvido na IDE do Arduino é apresentado no Anexo 3. A Figura 24, mostra o circuito de controlo dos parâmetros ambientais.

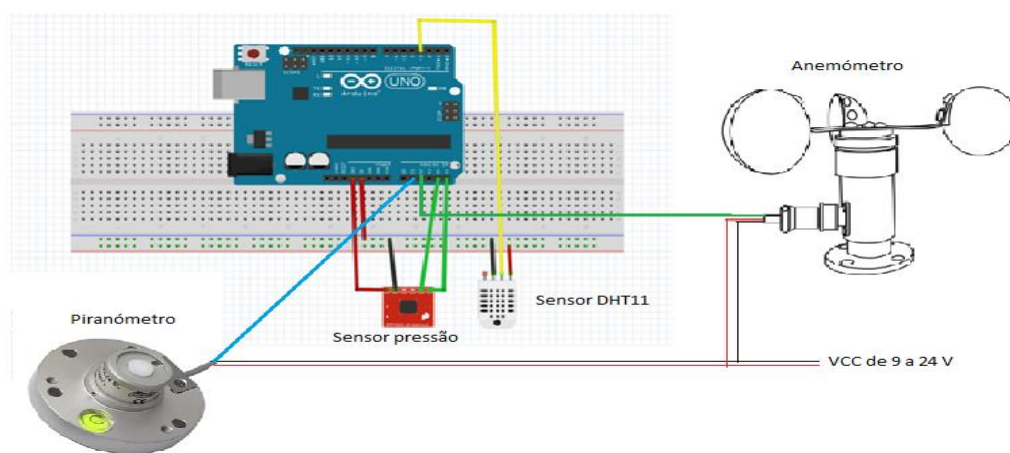


Figura 24: Circuito controlo dos parâmetros ambientais

Fonte: Própria

b) Medição dos parâmetros dos inversores

Para medir os principais parâmetros de entrada e saída de cada inversor, é instalado um conjunto de sensores, como por exemplo sensores de tensão e de corrente.

- ✓ Sensor de corrente não invasivo SCT-013

O sensor de corrente SCT-013 é muito versátil e tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada, ou seja, não precisamos abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas “abraçar” um dos fios ligados ao equipamento a ser monitorado. Este sensor será conectado de forma analógica aos outros mencionados ao microcontrolador.

Com base nas informações do *datasheet*, o SCT-013-000 (100A), tem na saída uma variação de corrente. Assim, no microcontrolador conseguimos ler quase que diretamente a variação de tensão, mas no de 100A vamos precisar de um componente 14 adicional: o “burden resistor” (“resistor de carga”), para gerar a variação de tensão que precisamos para efetuar a leitura no microcontrolador.

Para calcular o resistor de carga, vamos seguir alguns passos:

- ✓ Determinar a corrente máxima que vamos medir. No nosso caso, é um sensor de 100 A, logo é este valor representa a corrente máxima.
- ✓ Converter o valor eficaz da corrente máxima para o valor corrente de pico, multiplicando-a por $\sqrt{2}$.

$$\text{Valor pico da corrente} = \text{Valor eficaz} \times \sqrt{2} = 100 \times \sqrt{2} = 141,4 \text{ A}$$

O primário do transformador de corrente tem 2 000 voltas, sendo assim a corrente no secundário é dado por:

$$\text{Corrente no secundario} = \frac{\text{Corrente no Primario}}{\text{Número de voltas}} = \frac{141,4}{2\,000} = 0,0707 \text{ A}$$

Para melhorar a resolução da medição de corrente por meio do Arduíno, é necessário colocar um resistor carga. A voltagem através do resistor de carga no pico de corrente deve ser igual a metade da tensão de referência, que no caso é o Arduíno trabalha com 5V, a voltagem é 5V. Logo o resistor de carga é dado pela razão tensão sobre a corrente no secundário.

$$\text{Resistor de Carga} = \frac{2,5}{0,0707} = 35,4\Omega$$

Como não existe um resistor com esse valor nominal, utilizaremos dois resistores com valor nominal de 33 ohms. A Figura 25, mostra o circuito do sensor corrente AC.

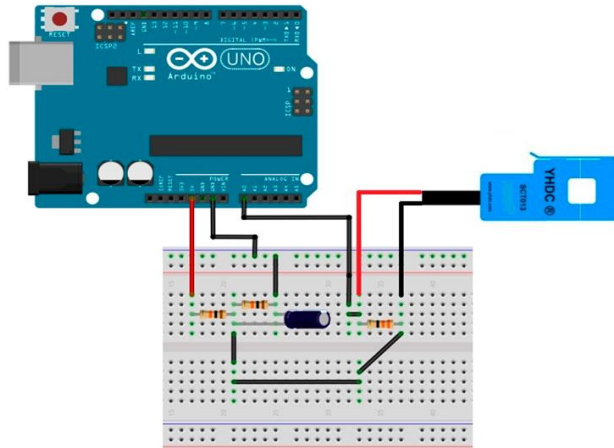


Figura 25: Circuito do sensor de corrente AC

Fonte: Própria

✓ Sensor de corrente ACS 712

Este sensor usa o efeito hall para detectar o campo magnético gerado pela passagem de corrente, gerando na saída do módulo (pino OUT) uma tensão proporcional de 66mV/A. O sensor também pode medir correntes entre -30 e +30A de maneira fácil e segura, sendo do tipo invasivo. Ou seja, é preciso interromper o circuito para realizar a medição. O sensor de corrente ACS712 pode ser utilizado com corrente alternada (AC) e corrente contínua (DC). Os bornes de ligação são completamente isolados da saída para o microcontrolador (Figura 26).

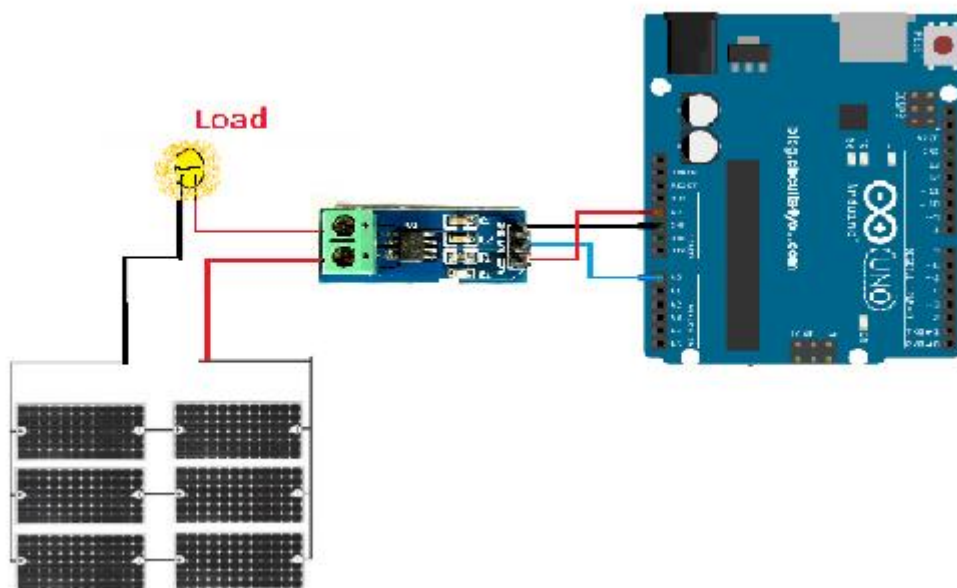


Figura 26: Circuito do sensor de corrente DC

Fonte: Própria

✓ Sensor de tensão ZMPT101B

O módulo sensor de tensão ZMPT101B é uma tensão sensor fabricado a partir do transformador de tensão ZMPT101B. Isto tem alta precisão, boa consistência para tensão e potência medição e pode medir até 250V AC. Isto é simples de usar e vem com um ajuste de várias voltas potenciômetro para ajustar a saída ADC. A análise neste artigo tende a encontrar um relacionamento mais preciso entre a tensão de entrada e a saída ADC por análise de regressão. A saída ADC é ajustada usando o trimpot para um valor apropriado em relação a uma entrada de referência (Figura 27).

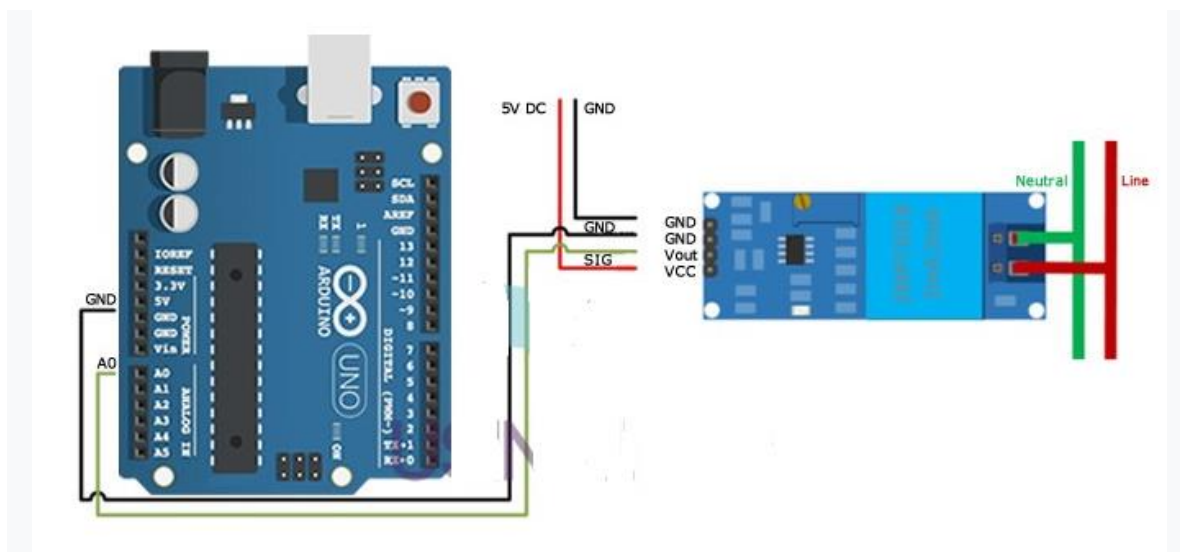


Figura 27: Circuito do sensor de tensão AC

Fonte: Própria

✓ Medidor de frequência

A corrente alternada que é utilizada em nossas casas, fábricas, lojas e, em geral, no sistema elétrico, pode ser transmitida monofásica ou trifásica, em tensões diferentes, com capacidade de fornecer diferentes intensidades, mas existe uma magnitude que deve ser mantida constante, que é a frequência.

Uma das formas utilizadas para medir a frequência com o Arduino, é pelo método de Detecção de cruzamento zero. Para executar esta tarefa, é necessário utilizar um acoplador ótico.

Os acopladores óticos são usados para muitas funções e, dependendo do modelo, eles têm comportamentos muito diferentes. Eles podem ser classificados pelo tipo de sinal com o qual trabalham, pela potência que suportam, pelo número de pinos ou pela resposta que têm a diferentes estímulos, entre outras características típicas.

Para medir a frequência com o Arduino, no referido projeto foi usado o acoplador ótico H11AA1. Este é um detetor de cruzamento zero, um dispositivo que emite um pulso quando um sinal de tensão passa por 0V.

O circuito da Figura 28, mostra como é efetuada a mediação de frequência com o Arduino. Sendo assim foi usado 1 resistor de 47 k, que irá funcionar como um limitador de corrente.

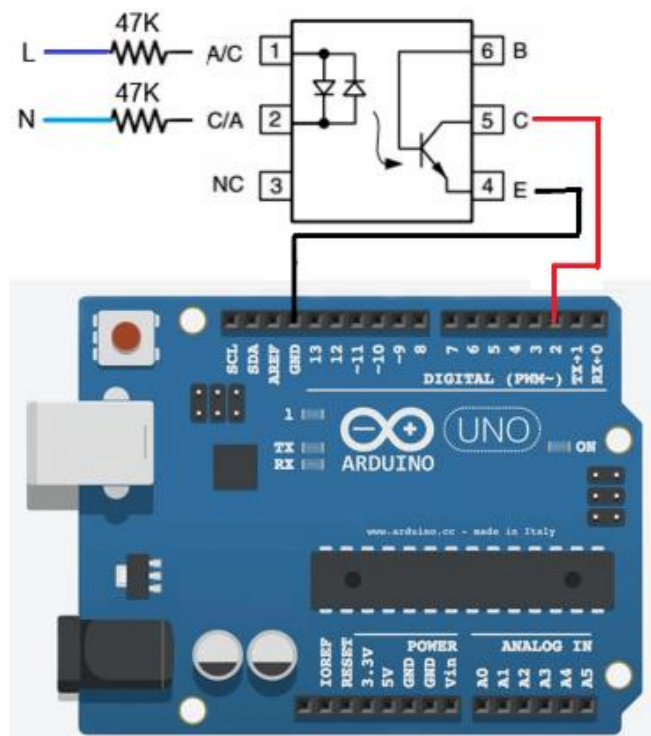


Figura 28: Medidor frequência com Arduino

Fonte: Própria

✓ Medição de tensão DC

A tensão DC na entrada do Inversor, é aplicada ao longo de duas resistências e a tensão de saída é medida em paralelo com a resistência de menor valor, a qual é conectada a um circuito de condicionamento. Desse modo, a tensão de entrada é transformada em uma tensão de amplitude mensurável pelas entradas analógicas do Arduino.

O terminal positivo da saída é conectado à entrada analógica do controlador que trabalha com uma entrada analógica suporta até 5 V. Para o inversor Growatt, cada entrada MPPT possui uma tensão máxima de 250, 6 V, R1 e R2 são calculados tal que a tensão sobre R2 seja

próxima (mas não ultrapasse) 5 V quando a tensão de entrada for máxima, ou seja, igual a tensão de circuito aberto.

Considerando R_2 de 100 K Ω , aplicando a equação de divisor de tensão o resistor R_1 é 5M Ω .

$$R_1 = \frac{V_{PV} \times R_2 - V_{OUT} \times R_2}{V_{OUT}}$$

$$R_1 = \frac{250,6 \times 100 - 5 \times 100}{5} = 4\,912\text{ K}\Omega$$

O ponto médio entre os resistores é ligado à entrada de um amplificador operacional na configuração de *buffer*, sendo que a saída deste é o ponto a ser conectado ao Arduino. A Fig. 28 mostra o circuito final desenvolvido para o sensor de tensão. O terminal IN-2 é conectado em paralelo à saída positiva do módulo fotovoltaico, enquanto o terminal oposto é conectado à saída negativa.

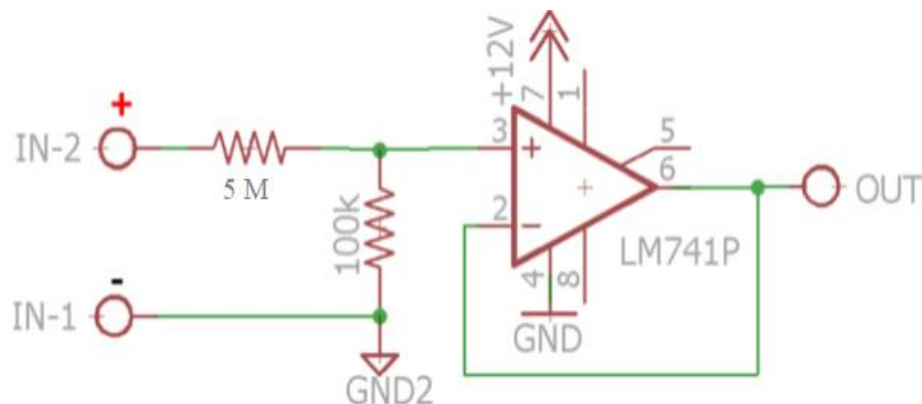


Figura 29: Circuito do medidor tensão DC

Fonte: Própria

4.5 Desenvolvimento do aplicativo de Controlo no software Elipse SCADA

Para a comunicação do Arduino com Elipse SCADA é necessário que o hardware tenha características de um controlador lógico programável, ou seja, ele precisa ter um protocolo de

comunicação programado a fim de transmitir as informações adquiridas pelos dispositivos de campo, ao sistema supervisão.

No software Elipse SCADA foi criado um conjunto de telas, que irá permitir efetuar o sistema de monitorização e aquisição de dados da central Fotovoltaica da Universidade do Mindelo.

Na tela inicial do aplicativo, os usuários cadastrados, clicam no botão de login, onde aparece uma tela, para o usuário digitar o login e a senha. A seguir é apresentado o script do login de acesso ao aplicativo.

```
IF Application.Login()
```

```
ELSE
```

```
MessageBox("O login nao foi executado com sucesso","Atenção")
```

```
ENDIF
```

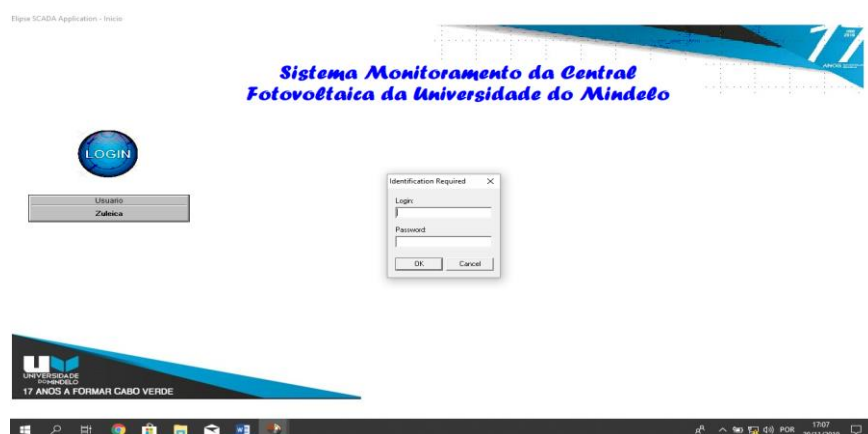


Figura 30: Tela inicial do aplicativo

Fonte: Própria

Ao efetuar o login de forma corretamente, o usuário irá ser enviado na tela de Menu. Esta tela possui um conjunto de botões, que permite ao usuário visualizar os parâmetros ambientais, e os dados de cada inversor. É apresentado um gráfico que indica a energia diária produzida pelo sistema on-grid. No canto direito, o botão de SAIR, quando o usuário pretende sair do aplicativo, basta clicar no botão SAIR e este será direcionado para a tela de inicio.

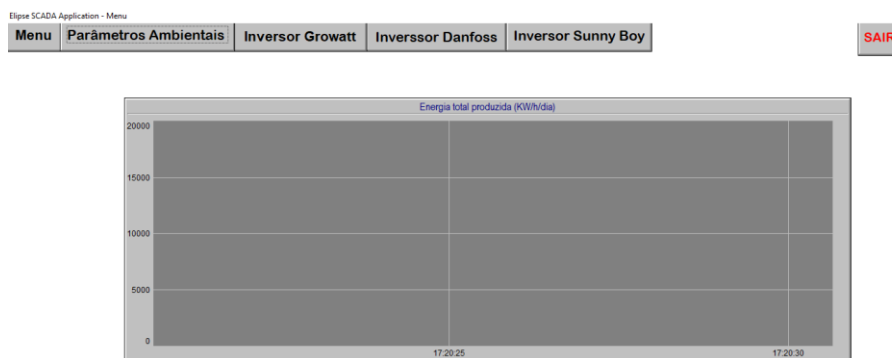


Figura 31: Tela menu do aplicativo

Fonte: Própria

Na tela dos parâmetros ambientais, é possível visualizar os dados da radiação solar, a velocidade do vento, temperatura, Humidade e pressão. Estes dados são apresentados em forma de Gauge ⁴.

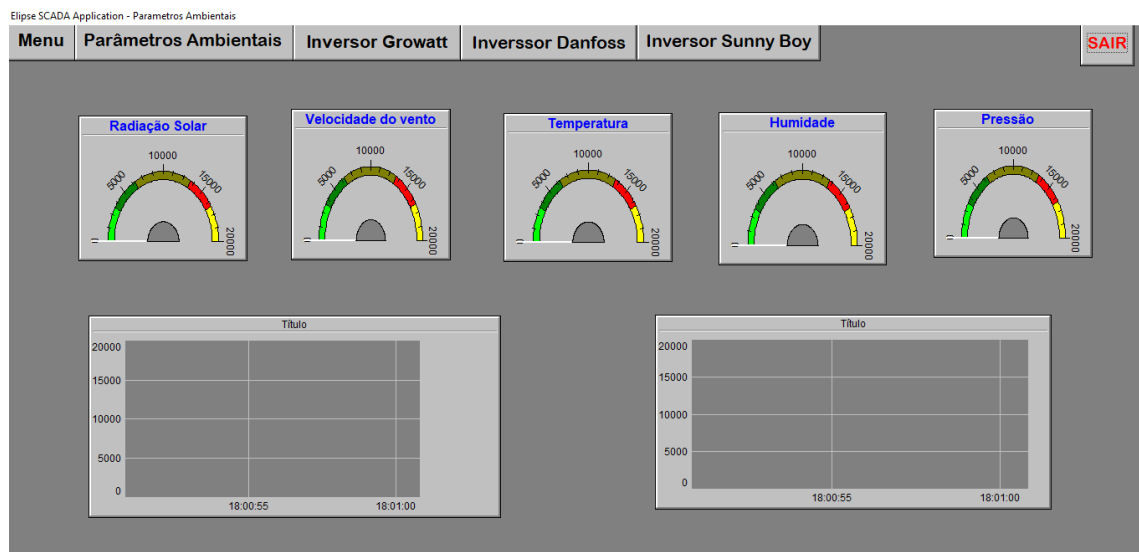


Figura 32: Tela para visualizar os parâmetros ambientais

Fonte: Própria

⁴ Este é bastante útil para mostrar variáveis com resultados analógicos, funcionando como um mediador contínuo. Os valores de escala e as propriedades do Gauge podem ser definidos pelo usuário, além de sua posição na tela que pode variar em 0, 90, ou 270 graus de rotação e para editar as propriedades no Gauge dando um duplo clique sobre o mesmo.

Para cada Inversor foi criado uma tela onde é possível visualizar os valores de entrada (Tensão, corrente e potência fotovoltaica) e os valores de saída do nosso sistema (tensão, corrente, frequência, potência e energia diária produzida). Nesta tela também é apresentada um sistema que armazena os Alarme, em caso de qualquer falha do sistema.

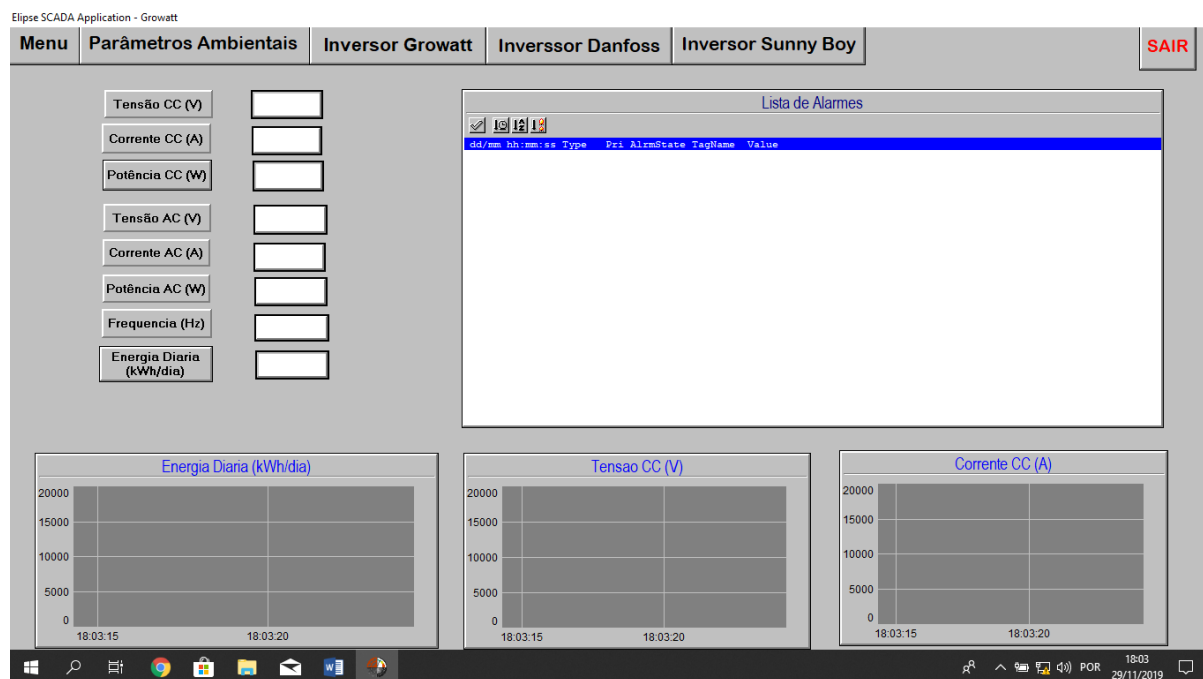


Figura 33: Modelo da tela dos inversores

Fonte: Própria

4.6 Criação da Base de Dados

A base de dados foi criada no aplicativo MYSQL. Para utilizar este aplicativo, é necessário instalar servidor, responsável para armazenar os dados e responder às requisições feitas por um cliente conectado com mesmo. Neste projeto foi utilizado o WAMP⁵.

⁵ é a combinação das iniciais das palavras Windows, Apache, MySQL e PHP. Ele é um pacote de softwares que instala todos esses programas no computador de uma só vez, se assim você quiser.

A placa Arduino utilizada não é capaz de criar bancos de dados e tabelas, portanto para que seja possível registrar os valores dos sensores em um banco de dados MySQL, deve ser criado manualmente banco de dados no servidor MySQL e também as tabela na qual serão efetuados os registros.

O primeiro passo para que seja possível realizar a integração do Arduino com um banco de dados MySQL consiste em criar um usuário para acessar o servidor, bem como, a sua senha de acesso.

Quando nós instalamos um servidor MySQL em um computador, um usuário padrão chamado **root** (juntamente com uma senha definida pelo usuário) é criado no momento da instalação, porém, recomenda-se que criar um novo usuário para entrar no servidor através do mesmo.

Para realizar este procedimento, basta entrar no terminal do servidor MySQL. Isto pode ser feito, primeiramente, acessando o *Prompt de comando* e percorrendo o caminho até a pasta onde o servidor foi instalado e em seguida, utilizando o comando apresentado na figura a seguir:

```
C:\Program Files\MySQL\MySQL Server 5.7\bin>mysql -u root -p
```

Após a realização do passo anterior, você deverá digitar a senha do usuário **root** (definida na instalação do servidor) e então será possível acessar diretamente o terminal.

```
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 83
Server version: 5.7.19-log MySQL Community Server (GPL)

Copyright (c) 2000, 2017, Oracle and/or its affiliates. All rights reserved.
Oracle is a registered trademark of Oracle Corporation and/or its
affiliates. Other names may be trademarks of their respective
owners.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

mysql> CREATE USER 'arduino'@'%' IDENTIFIED by 'arduino';
```

Usuário

Senha

IP da máquina que tem permissão
para se conectar com o servidor
através deste usuário

Na figura anterior, criamos um usuário chamado Arduino, o qual, está atrelado a uma senha também nomeada Arduino. O símbolo % determina que qualquer IP ⁶ pode entrar no servidor MySQL através deste usuário.

Agora que já criamos o usuário, devemos criar um banco de dados dentro do servidor, chamado *sistema_de_controle*. Este procedimento é bastante simples e pode ser realizado da seguinte maneira.

O esquema da figura abaixo, mostra o modelo relacional de dados e as devidas relações entre cada entidade, para criar a base de dados.

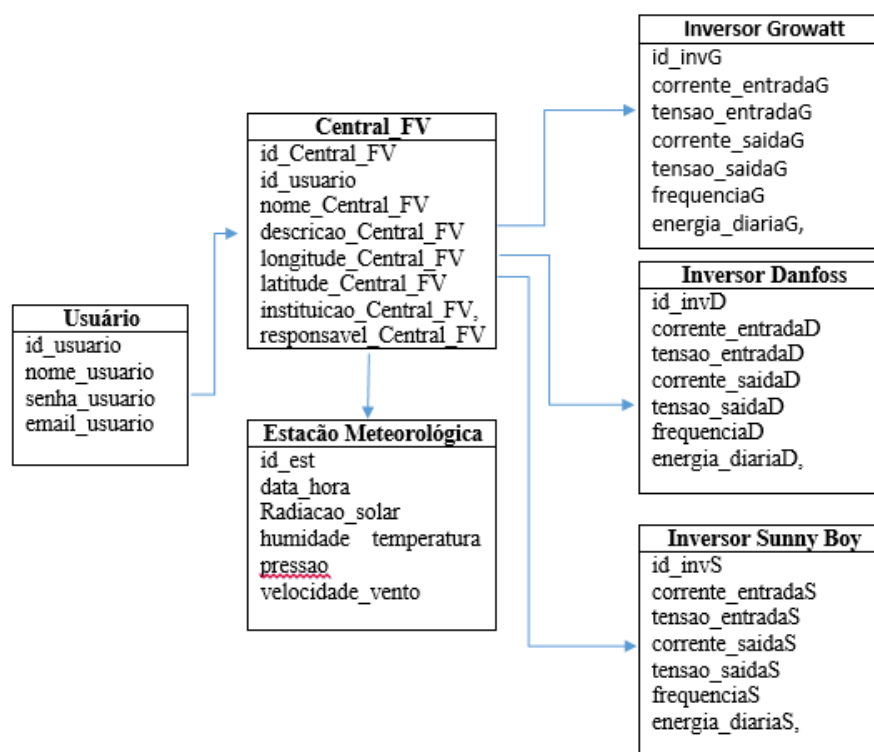


Figura 34: Modelo relacional da criação da base de dados

Fonte: Própria

A seguir é apresentado o código, para criar a base de dados.

⁶ é um número único atribuído a todos os dispositivos (por exemplo, um computador, tablet ou telefone) quando eles estão conectados à Internet.

```

CREATE DATABASE sistema_de_controle;

CREATE TABLE usuario(

    id_usuario bigint(20) not null,
    nome_usuario varchar(25) not null,
    senha_usuario varchar(20) not null,
    email_usuario varchar(150) not null,
    PRIMARY KEY(id_usuario)
);

CREATE TABLE Central_FV(

    id_Central_FV int not null,
    id_usuario bigint(20) not null,
    nome_Central_FV varchar(45) not null,
    descricao_Central_FV varchar(225) not null,
    longitude_Central_FV varchar(10) not null,
    latitude_Central_FV varchar(15) not null,
    instituicao_Central_FV varchar(45) not null,
    responsavel_Central_FV varchar(20) not null,
    PRIMARY KEY(id_Central_FV)
);

CREATE TABLE estacao_meteriologico(

    id_est int not null AUTO_INCREMENT,
    id_Central_FV int not null,
    data_hora varchar(21) not null,
    Radiacao_solar float not null
    humidade decimal(3,2) not null,
    temperatura decimal(3,2) not null,
    pressao decimal(6,2) not null,
    velocidade_vento decimal(2,2) not null,
    PRIMARY KEY(id_est)
);

CREATE TABLE inversor_Growatt(

    id_invG int not null AUTO_INCREMENT,
    id_Central_FV int not null,
    corrente_entradG decimal(3,2) not null,
    tensao_entradaG decimal(4,2) not null,
    corrente_saidaG decimal(4,2) not null,

```

```

    tensao_saidaG decimal(4,2) not null,
    frequenciaG decimal(2,1) not null,
    energia_diariaG decimal(5,2) not null,
    PRIMARY KEY(id_invG)
);
CREATE TABLE inversor_Danfoss(

    id_invD int not null AUTO_INCREMENT,
    id_Central_FV int not null,
    corrente_entradaD decimal(2,2) not null,
    tensao_entradaD decimal(4,2) not null,
    corrente_saidaD decimal(3,2) not null,
    tensao_saidaD decimal(4,2) not null,
    frequenciaD decimal(2,2) not null,
    energia_diariaD decimal(5,2) not null,
    PRIMARY KEY(id_inv)
);
CREATE TABLE inversor_SunnyBoy(

    id_invS int not null AUTO_INCREMENT,
    id_Central_FV int not null,
    corrente_entradaS decimal(3,2) not null,
    tensao_entradaS decimal(4,2) not null,
    corrente_saidaS decimal(3,2) not null,
    tensao_saidaS decimal(4,2) not null,
    frequenciaS decimal(3,2) not null,
    energia_diariaS decimal(5,2) not null,
    PRIMARY KEY(id_invS)
);
/*criar tabelas primeiro depois enserir relacoes*/
/*RELACOES=CHAVE ESTRANGEIRA*/
alter table Central_FV
add constraint fk_id_usuario foreign key Central_FV(id_usuario)
references usuario(id_usuario);

alter table estacao_meteriologico
add constraint fk_id_Central_FV foreign key
estacao_meteriologico(id_Central_FV)
references Central_FV(id_Central_FV);

alter table inversor_crowatt
add constraint fk_id_Central_FV foreign key inversor_crowatt(id_Central_FV)
references Central_FV(id_Central_FV);

alter table inversor_Danfoss

```



```
add constraint fk_id_Central_FV foreign key inversor_Danfoss(id_Central_FV)
references Central_FV(id_Central_FV);

alter table inversor_SunnyBoy
add constraint fk_id_Central_FV foreign key inversor_SunnyBoy(id_Central_FV)
references Central_FV(id_Central_FV);
```

4.7 Controlo dos Inversores EFFEKTA

Para configurar o sistema de controlo do inversor EFFEKTA, é preciso seguir os seguintes casos:

- ✓ Conceção paralelo de inversores Effekta;
- ✓ Configuração do software Watch Power;
- ✓ Configuração do sistema Web do inversor.

4.7.1 Conceção paralelo de inversores Effekta

Para efetuar a conexão paralelo de inversores Effekta, é necessário instalar um kit trifásico como mostra a figura abaixo. Este permite configurar os inversores para funcionar em modo monofásico ou trifásico.

Para isso é necessário definir uma unidade principal, denominada de mestre, que opera como inversor de tensão. Esse inversor é responsável por controlar a tensão de saída e enviar a referência de corrente para todas as outras unidades (escravos) que operam como inversores de corrente.



Figura 35: Kit trifásico de comunicação paralelo de inversores Effekta

Fonte: SolarImpact, 2019

As vantagens dessa técnica são: a simplicidade e a eficiência do controle para a divisão de correntes entre os inversores, pois os escravos operam no modo corrente seguindo a sua referência; e a facilidade de expansão vários números de conversores em paralelo, pois novos módulos escravos podem ser adicionados com o aumento da demanda.

As desvantagens são: a não redundância do sistema, pois uma falha na unidade mestre pode parar todo o sistema; a necessidade de um barramento de comunicação entre os inversores; uma resposta dinâmica inferior durante transitórios em relação às outras técnicas, pois uma resposta dos módulos escravos depende da dinâmica do mestre (operação em cascata); e a estabilidade do sistema depender do número de inversores escravos conectados ao sistema.

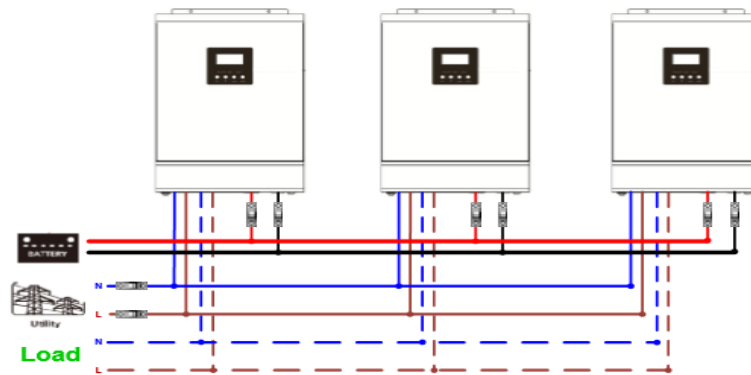


Figura 36: Conexão paralela de 3 inversores Effekta

Fonte: Manual Inversor Effekta

4.7.2 Configuração do software Watch Power

Para fazer a configuração básica o primeiro passo é determinar o tempo de atualização da página, onde vai permitir a configuração dos parâmetros de visualização. O intervalo de configuração e de varredura é de 5 a 600 segundos. A configuração padrão é de 5 segundos. Ainda temos o intervalo de gravação onde vai determinar o tempo de gravação dos dados de monitorização dos inversores que duram de 30 á 600 segundos.

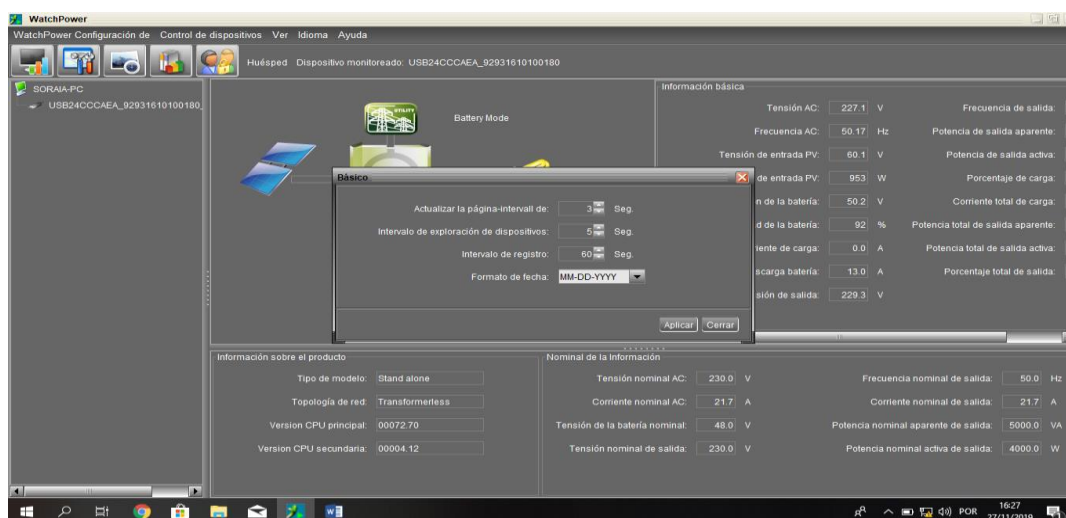


Figura 37: Menu de configuração básico do software Watch Power

Fonte: Adaptado Watch Power

Para entrar no sistema é necessário que haja a configuração da senha somente para o administrador, mas primeiro deve-se fazer o login e definir a senha, onde a senha padrão é administrador. Os convidados não podem executar ou controlar qualquer tipo de configuração.

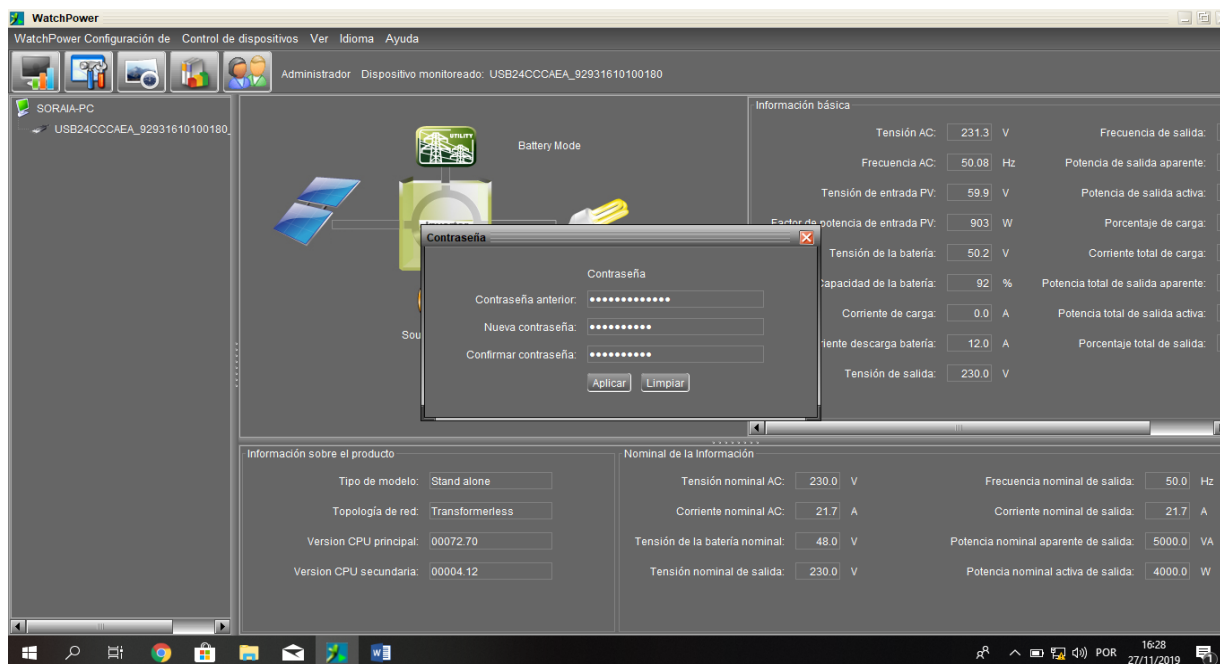


Figura 38: Alteração da palavra passe do software Watch Power

Fonte: Adaptado Watch Power

A imagem abaixo, mostra o menu de configurações para alterar os parâmetros do inversor. Numa primeira etapa vai ter botões de ativar e desativar as funções, alguns parâmetros podem alterar os números clicando nas setas para cima ou modificando os números diretamente na coluna numérica. Na segunda etapa, para salvar a configuração da função, tem que clicar em cada botão de aplicar para poder assim salvar a configuração.

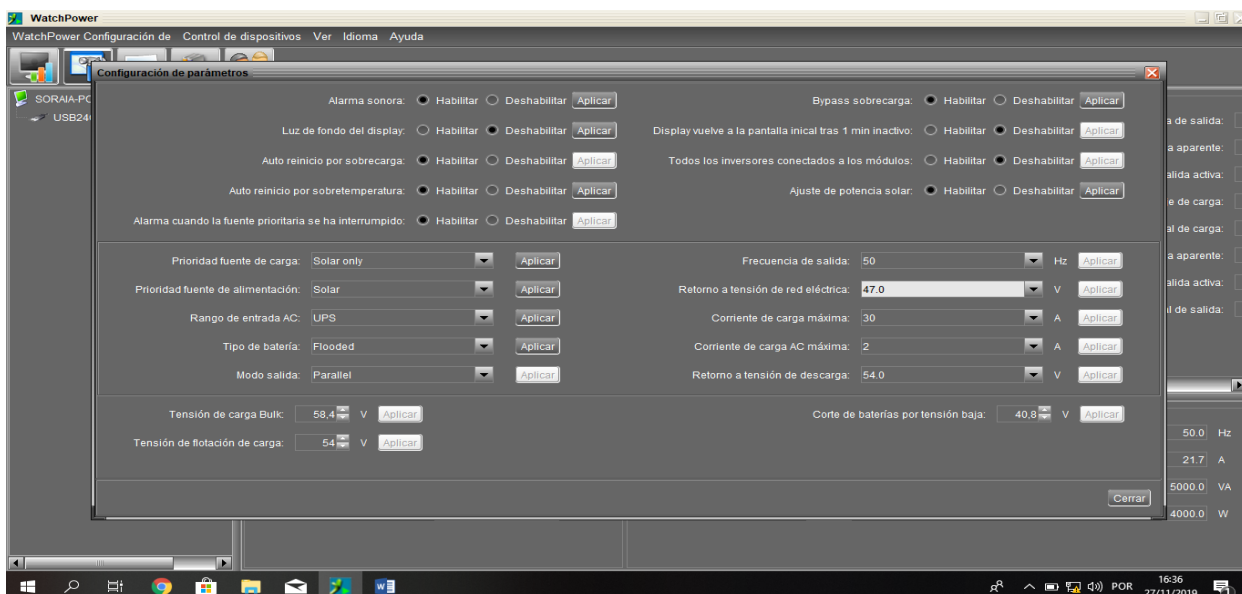


Figura 39: Configuração dos paramentos do inversor

Fonte: Adaptado Watch Power

4.7.3 Configuração do sistema Web do inversor

O SNMP é um servidor da web que serve para monitorar e gerenciar inversores dentro de um ambiente de rede LAN ou Internet. Ele pode receber dados de temperatura, humidade do meio ambiente, podendo assim fazer a configuração e acessar remotamente todos os inversores distribuídos no sistema.

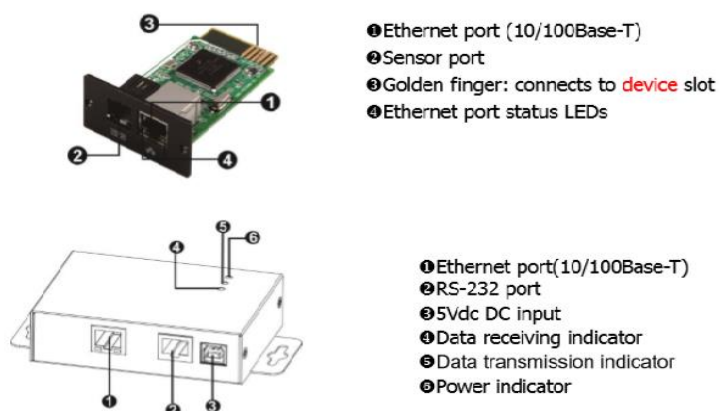


Figura 40: Placa de conexão do inversor com a rede internet

Fonte: Manual SNMP

Para conectar o sistema com a rede internet, basta usar um cabo Ethernet e conecte uma extremidade à porta do sensor na placa SNMP e a outra extremidade ao dispositivo opcional de monitoramento ambiental. Se estiver usando a caixa SNMP: Use um cabo Ethernet para conectar à porta Ethernet (υ) da caixa. Use um cabo RJ45 para conectar à porta RS-232 (ϣ) da caixa e à porta RS-232 do inversor. Em seguida, use o cabo USB fornecido para conectar à porta USB (ω) da caixa e à fonte de alimentação USB de 5V DC.

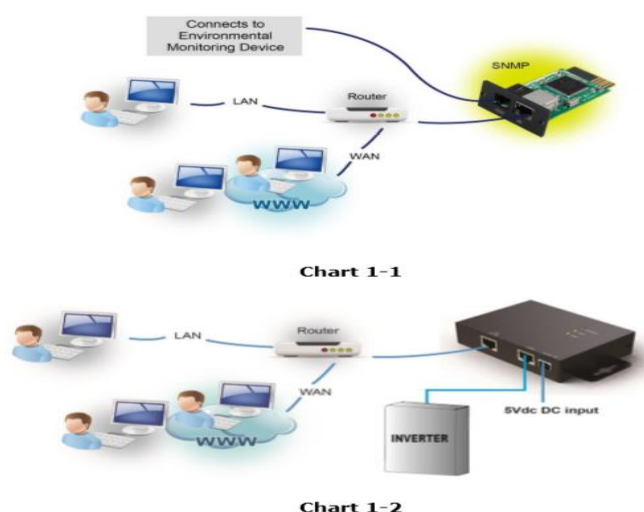


Figura 41: Modelo de integração do software Watch Power com a rede internet

Fonte: Manual SNMP

Para configurar o sistema é necessário seguir os seguintes passos:

1. Instale o software gerenciador SNMP no PC;
2. Digite um endereço IP específico para pesquisar todos os dispositivos da SNMP coletando automaticamente o endereço do servidor;
3. O usuário pode modificar a configuração IP, é necessário digitar uma senha padrão 123456678.

O monitoramento do sistema é efetuado de duas formas:

1. Clique duas vezes na lista de dispositivos selecionados;

2. Instalar o Software Watch power para monitorar o SNMP.

A GUI da Web SNMP inclui funções que vai oferecer conjunto de ferramentas para a navegação e configuração da GUI, enquanto que secção de login mostra o tipo de usuário para o usuário atual. E as telas principais exibem as informações ou alternativas de acordo com o menu de funções selecionado.

4.8 Custo do projeto

Na tabela baixa está referido os equipamentos e as quantidades necessárias para a realização do projeto. Numa coluna encontra-se o preço unitário e na outra coluna o preço total dos mesmos em escudos.

Equipamentos	Quantidade	Preço Unitário (ECV)	Total (ECV)
Sensor de corrente DC	3	250	750
Sensor de humidade	1	230	230
Sensor de temperatura	1	325	325
Módulo esp8266	1	187	187
Adaptador de módulo esp8266	1	135	135
Sensor Corrente AC	3	745	2235
Módulo xbee	2	1980	3960
Shield xbee	2	215	430
Arduíno mega	1	820	820
Módulo ethernet	1	530	530
Fios de ligação Macho-fêmea (20cm)	30	5	150
Sensor tensão AC	3	270	810
Sensor tensão DC	3	312	936
Frequencímetro	3	260	780
Sensor de Pressão	1	185	185
Total (ECV)			11 933

Tabela 2: Custo do projeto

Fonte: Própria

CAPITULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS E ANEXOS

5.1 Conclusão

O consumo de energia é cada vez maior e sua produção crescentemente diversificada, assim concluiu que a energia elétrica é uma dessas diversidades que atenda a requisitos ecológicos. Neste trabalho foi feito um projeto de monitorização da central Fotovoltaica da Universidade do Mindelo, para que haja maior desempenho do sistema.

O sistema de monitorização e aquisição de dados vai permitir um maior controlo do sistema, independentemente do lugar que estiver, porque durante o projeto foi desenvolvido programas que vai permitir acessar os valores da central Fotovoltaica. Como sabem a energia Solar Fotovoltaica está cada vez mais desenvolvido em Cabo-Verde, logo, é necessário que haja sempre uma forma de manter o controlo do sistema, por exemplo dos parâmetros Ambientais (Humidade, temperatura, Radiação solar, pressão e Velocidade do vento).

Comprido todos os objetivos traçados durante o projeto, uma vez que o projeto foi aplicado e obteve-se resultados bem positivos. Este trabalho foi muito importante para o meu aprofundamento deste tema, pois tive a oportunidade de estudar novas programas e novas ideias que permitiu a aperfeiçoar competências de investigação, seleção, organização e comunicação da mesma.

5.2 Sugestão de Trabalhos Futuros

Pode-se criar um sistema de armazenamento dos dados, por exemplo na nuvem, criando assim um sistema artificial com o objetivo de fazer a comparação entre os dados da rede e também da energia Fotovoltaica para que possa saber se é necessário ligar ou desligar o sistema Fotovoltaica.

A universidade do Mindelo é recomendável que substitui as baterias de ácido de chumbo por baterias de Lítio, para que haja um melhor armazenamento da energia.

E para um sistema Fotovoltaica On-Grid de acordo com as novas leis do sistema elétrico de Cabo-Verde deve-se acrescentar em cada entrada dos inversores, descarregadores de sobre tensão de 600V de 25Kilo-Ampére.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allegro Microsystems LLC. (2006). , *Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*,. ACS-712 Datasheet.

Amorim, P. C. (2010). *Sensores*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Brasil.

Araújo, J. A. (2012). *Sistema de Aquisição e Monitorização de Dados para Indústria Alimentar e Laboratorial*. Dissertação de Mestrado, Instituto Politecnico de Viseu, Viseu.

Arduino. (2019). Obtido em 20 de 10 de 2019, de www.arduino.cc/en/Guide/Introduction

Barduco, D. (2018). *Desenvolvimento de Sistema para Acionamento e Desligamento Remoto de Equipamentos Elétricos Residenciais*. Universidade Católica do Paraná, Curitiba .

Bauer, P., & Lonel, R. (2013). *LabVIEW Remote Panels and Web Services in Solar Energy Experiment – A Comparative Evaluation*. IEEE 8th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), Timisoara.

Bell, C. (2016). *MySQL for the Internet of Things*. Copyright, ISBN-13 (pbk): 978-1-4842-1294-3.

Camara, M. N. (2016). *Monitoramento de temperatura e umidade de um ambiente utilizando o protocolo Zigbee*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Norte.

Carneiro, J. (2010). *Carneiro,J (2010).Módulos fotovoltaicos carateristicas e associações,Dissertação de*. Dissertação de Mestrado, Universidad do Minho.

Castro, R. M. (2004). *Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução à Energia Fotovoltaica*. 1Edição, Lisboa.

Chesini, D., & Gabe, I. (2012). *Sistema wireless de aquisição de dados com armazenamento em nuvem aplicado ao monitoramento de plantas fotovoltaicas*. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologias do Rio Grande do Sul, Campus Farroupilha, Brasil.

Delisle, M. (2006). *Mastering phpMyAdmin 2.8 for Effective MySQL Management: Increase your MySQL productivity and control by discovering the real power of phpMyAdmin 2.8*. Third edition, Copyright Packt Publishing, ISBN 1-847191-60-6.

Espressif Systems IOT Team. (2015). *ESP8266EX Datasheet Version 4.3, ESP8266 Datasheet*.

Evans, B. W. (2008). *Arduino Programming Notebook*.

Ferrari, F. A. (2007). *Criar um banco de dados em MYSQL*. Digerati Books,ISBN 978-85-60480-25-8, São Paulo.

Filho, E. R. (2012). *Conversores eletrônicos de potência para os Sistemas Fotovoltaicos de baixa tensão Concentrados à rede elétrica*. Campinas.

Freitas, S. (2008). *Dimensionamento de sistemas fotovoltaico*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Politécnico de Bragança, Bragança.

Goswami, D. Y. (2015). *Principles of Solar Engineering*. CRC Press, Taylor & Francis Group.

Grätzel, M. (2003). *Dye-sensitized Solar Cells*. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, v. 4, p. 145-153.

Halmeman, R. (2014). *Desenvolvimento de um sistema para monitoramento remoto em centrais de microgeração fotovoltaica*. Universidade Estadual Paulista, Botucatu- SP.

IEA PVPS. (2016). *Trends in photovoltaic applications, 21th edition, 2016*. acessado em 20 de Julho de 2019, Disponível em: <http://www.iea-pvps.org>.

INE-Instituto Nacional de Estatística . (2017). *Anuário Estatístico 2017*. Cabo Verde .

Luque, A., & Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* . Chichester: John Wiley & Sons.

Madeti , S. R., & Singh, S. N. (2017). “*Monitoring system for photovoltaic plants: A review*”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. , vol. 67,, pp. 1180-1207, Elsevier.

Mozilla. (2017). Obtido em 20 de 9 de 2019, de developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript

Müller, M. L. (2017). *Sistema Supervisório e Aquisição de Dados de uma Usina de Geração Fotovoltaica*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Niederauer, J. (2004). *Desenvolvendo websites com PHP*. Novatec, São Paulo.

Oliveira, Z. R. (2016). *Acionamento remoto de equipamentos domésticos*,. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 041, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

Olivera, M., & Lima, L. (2017). *Sistema de comunicação de dados usando o arduino e modulo RF 433 Mhz*. Centro Universitário de Brasília, Brasília.

Padmanabhan, B. (2008). *Modeling of Solar Cells*. Masters Dissertation, USA.

PHP. (2017). Obtido em 21 de 9 de 2019, de http://php.net/manual/pt_BR/preface.php

Pinho, J. T., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro .

Procel. (2004). *Acionamentos Electronicos, Guia Avançado*. Eletrobras - Procel Industria, Brasil.

R. Mukaro, R., Carelse , X., & Olumekor, L. (1998). *First performance analysis of a silicon-cell microcontroller-based solar radiation monitoring system*. pp. 313-321, Elsevier.

Roberts, S. (1991). *Solar Electricity- A practical guide to designing and installing small Photovoltaic Systems*. Prentice Hall.

Silva, A. T. (2007). *Módulos de Comunicação Wireless*. Universidade do Porto, Porto .

Silva, T. (2019). *Blog Silvatronics*. Obtido em 30 de 10 de 2019, de blog.silvatronics.com.br/arduino-o-guia-definitivo/

Skvarenina, T. (2001). *The power electronics handbook*. CRC Press.

SQL Tutorial. (30 de 10 de 2019). *SQL Tutorial*. Obtido de www.hcoe.edu.np/uploads/attachments/r96oytechsacgzi4.pdf

Torres, D. (2009). *Sistemas Fotovoltaicos*. Dissertação de mestrado, universidade coimbra, Portugal.

W3SCHOOLS. (2017a). Obtido em 16 de 9 de 2019, de www.w3schools.com/html/html_intro.asp

W3SCHOOLS. (2017b). Obtido em 16 de 9 de 2019, de www.w3schools.com/css/tryit.asp?filename=trycss_default

Zobaa, A. F. (2013). *Energy Storage- Technologies and Applicatins*. Published by Intech.

7. ANEXOS

Anexo1: Dados do sensor de corrente AC

Split core current transformer



Model: SCT-013

Rated input current: 5A/100A

Characteristics: Opening size: 13mm*13mm,

Non-linearity: $\pm 3\%$ (10%—120% of rated input current)

1m leading wire, standard $\Phi 3.5$ three core plug output.

Current output type and voltage output type (voltage output type built-in sampling resistor)

Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc

Core material: ferrite

Mechanical strength: the number of switching is not less than 1000 times(test at 25℃)

Safety index: Dielectric strength(between shell and output)1000V AC/1min

Fire resistance property: In accordance with UL94-V0

Work temperature: $-25^{\circ}\text{C} \rightarrow +70^{\circ}\text{C}$

Outline size diagram: (in mm)

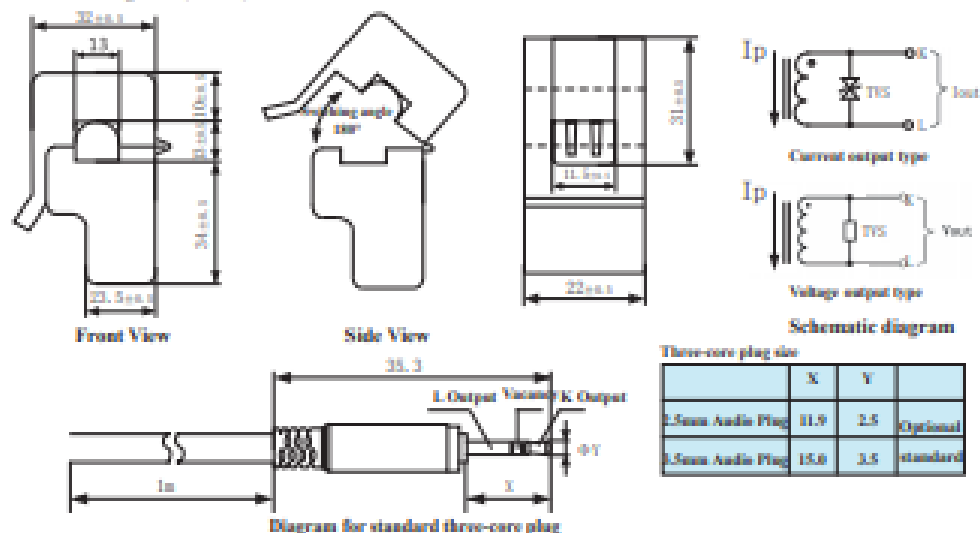


Table of technical parameter:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output type	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
Output type	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

※ Output type: voltage output type built-in sampling resistor, current output type built-in protective diode.

Tel: 86-13933609279 Fax: 86-7929499-804 skype:macymeng1

Web (China): www.yhdc.com Web (Latvia): www.yhdc.lv

Anexo 2: Especificações técnicas dos sensores

a) Sensor SEN0170

- Material: liga de alumínio;
- Modo de sinal de saída: 0-5V (sinal de tensão);
- Tensão de alimentação: DC 9-24V;
- Consumo de energia: Voltagem Máxima $\leq 0.3W$;
- Início da velocidade do vento: 0.4-0.8m/s;
- Intervalo efetiva de medição da velocidade do vento: 0-30m/s;
- Erro do sistema: $\pm 3\%$;
- Temperatura de operação: $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$;

b) Piranómetro de silício

- Faixa: 0 a 1.400 W / m²;
- Precisão: $\pm 2,5\%$;
- Desvio: 2% ao ano (Max.)
- Sinal de Saída: 10uV (W/m²);
- Temperatura de operação:-30C;
- Dimensões: $\Phi 30 * 30\text{ mm}$;

c) Sensor DH11

- Faixa de medição: 20-90% RH, 0-50C;
- Potência de 3 a 5V e E / S.
- Bom para leituras de umidade de 20 a 80% com precisão de 5%;
- Bom para leituras de temperatura de $0-50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ de precisão;
- Taxa de amostragem máxima de 1 Hz (uma vez a cada segundo).

d) Sensor de corrente ACS712

- Chip: ACS712;
- Tensão de alimentação: 5V;
- Corrente maxima: 30A;
- Tempo de resposta: 5uS;
- Largura da banda: 80Khz;
- Razão de Saída: 66mV por Ampere;
- Dimensões (C*L*A):32*13*14mm;
- Peso: 3,2g.

e) Sensor de Tensão ZMPT101b

- Modelo: ZMPT101b;
- Tensão de alimentação: 5 a 30VAC;
- Tensão de entrada: 0 a 250VAC;
- Corrente nominal: 2mA;
- Proporção: 1000:1000;
- Isolamento de tensão: 4000V;
- Precisão : mais ou menos 1%;
- Dimensões(C*L*A) : 52*22*20mm;
- Peso: 20g.

f) Sensor SCT-013

- Modelo: SCT-013-000;
- Corrente de entrada: 0-100A;
- Sinal de saída: 0-5mA;
- Conector de áudio: 3,5mm;
- Temperatura de trabalho: -25°C aproximadamente 70°C.

Anexo 3: Código parâmetros ambientais

```
#include <dht.h>
#include <Modbusino.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>

dht DHT;
#define DHT22_PIN 5

ModbusinoSlave modbusino_slave(1);
uint16_t tab_reg[10];

Adafruit_BMP085 bmp;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  if (!bmp.begin()){
    Serial.println("BMP180 nao encontrado... Verificar a ligacao!!");
    while (1) {}
  }
}

void loop() {
  while(1)
  {
    float presao= bmp.readPressure();
    int anemVal = analogRead(A1);
    float outvoltage = anemVal * (5.0 / 1023.0);
    int Level = 6*outvoltage;

    float hum = DHT.humidity;
    float temp = DHT.temperature;
    Serial.print(presao);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(Level);
    Serial.print(hum);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(temp);
    tab_reg[0] = presao;
    tab_reg[1] = Level;
    tab_reg[2] = hum ;
    tab_reg[3] = temp;

  }
}
```


Anexo 4: Códigos controle parâmetros do Inversor

```
#include "EmonLib.h"
#include <Modbusino.h>
#define CURRENT_CAL 18.40
#define VOLT_CAL 230

int AC7012[] = {A0,A1,A2};
int sct[] = {A3,A4,A5};
int ZMPT101B[] = {A6,A7,A8};

int i=0;
int x=0;
int y=0;

EnergyMonitor emon1;
EnergyMonitor emon2;
EnergyMonitor emon3;

ModbusinoSlave modbusino_slave(1);

uint16_t tab_reg[20];

float currentDanfoss_in;
float currentcrowatt_in;
float currentSunnyBoy_in;

float currentDanfoss_out;
float currentcrowatt_out;
float currentSunnyBoy_out;

float tDanfoss_out;
float tcrowatt_out;
float tSunnyBoy_out;

void setup(){

  Serial.begin(9600);

  for(i = 0; i < 2; i++){
    emon1.current(AC7012[i], CURRENT_CAL);
  }
  for(x = 0; x < 2; x++){
    emon2.current(sct[x], 60);
  }
  for(y = 0; y < 2; y++){
    emon1.voltage(ZMPT101B[y], VOLT_CAL, 1.7);
```

```

}
}
void loop(){

    while(2)
    {
        emon1.calcVI(20,100);
        if (i==0) {
            currentcrowatt_in = emon1.Irms;
        }
        if (i==1) {
            currentDanfoss_in = emon1.Irms;
        }
        if (i==2) {
            currentSunnyBoy_in = emon1.Irms;
        }
        tab_reg[4] = currentcrowatt_in;
        tab_reg[5] = currentDanfoss_in;
        tab_reg[6] = currentSunnyBoy_in;
    }

    while(3)
    {
        if (i==0) {
            currentcrowatt_out= emon2.calcIrms(1480);
        }
        if (i==1) {
            currentDanfoss_out = emon2.calcIrms(1480);
        }
        if (i==2) {
            currentSunnyBoy_out = emon2.calcIrms(1480);
        }
        tab_reg[7] = currentcrowatt_out;
        tab_reg[8] = currentDanfoss_out;
        tab_reg[9] = currentSunnyBoy_out;
    }

    while(4)
    {
        emon1.calcVI(17,2000);
        if (i==0) {
            tcrowatt_out= emon1.Vrms;
        }
        if (i==1) {
            tDanfoss_out = emon1.Vrms;
        }
        if (i==2) {

```

```
tSunnyBoy_out = emon1.Vrms;  
}  
  tab_reg[10] = tcrowatt_out;  
  tab_reg[11] = tDanfoss_out;  
  tab_reg[12] = tSunnyBoy_out;  
}  
}
```